



**David Jorge Ferreira**

Licenciado em Geologia Aplicada e do Ambiente

**EXPLORAÇÃO AGRÍCOLA E  
CONTAMINAÇÃO DE AQUÍFEROS POR  
NITRATO NO ÂMBITO DA  
CONFEDERAÇÃO HIDROGRÁFICA DO  
JÚCAR, ESPANHA – ANÁLISE E  
AVALIAÇÃO**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia e Gestão da Água

Orientador: Professora Doutora Maria Manuela Malhado  
Simões Ribeiro – FCT/UNL

Co-orientador: Professor Doutor Miguel Ángel Pérez  
Martín - UPV

Júri

Presidente: Doutor António Pedro Nobre Carmona Rodrigues

Arguente(s): Doutor José António de Almeida

Vogal(ais): Doutora Maria Manuela Malhado Simões Ribeiro,  
Doutor Miguel Ángel Pérez Martín



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Outubro 2013**

**David Jorge Ferreira**

Licenciado em Geologia Aplicada e do Ambiente

**EXPLORAÇÃO AGRÍCOLA E  
CONTAMINAÇÃO DE AQUÍFEROS POR  
NITRATO NO ÂMBITO DA  
CONFEDERAÇÃO HIDROGRÁFICA DO  
JÚCAR, ESPANHA – ANÁLISE E  
AVALIAÇÃO**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia e Gestão da Água

Orientador: Professora Doutora Maria Manuela Malhado  
Simões Ribeiro – FCT/UNL

Co-orientador: Professor Doutor Miguel Ángel Pérez  
Martín - UPV

Júri

Presidente: Doutor António Pedro Nobre Carmona Rodrigues

Arguente(s): Doutor José António de Almeida

Vogal(ais): Doutora Maria Manuela Malhado Simões Ribeiro,  
Doutor Miguel Ángel Pérez Martín

**Outubro de 2013**

## Copyright

Em nome de David Jorge Ferreira, da FCT/UNL e da UNL a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

## **Dedicatória**

Gostaria de dedicar esta dissertação aos meus pais, que sempre me apoiaram e se esforçaram para que eu pudesse continuar os estudos até ao nível hoje atingido. Também dedico este trabalho à minha sobrinha Beatriz.

## Agradecimentos

Gostaria de agradecer, em primeiro lugar, aos meus pais e à minha irmã pelo incondicional apoio e incentivo que me deram em todas as fases do desenvolvimento da dissertação. Em seguida, agradeço aos meus amigos, pelo interesse, apoio e dedicação demonstrados ao longo destes últimos meses.

Gostaria de agradecer à equipa da Confederação Hidrográfica do Júcar, especialmente a toda a Oficina de Planificação Hidrológica, pois sem o seu acolhimento nada disto teria sido possível. Desta forma, expresso os meus sinceros agradecimentos ao Teodoro Estrela, pela hospitalidade, à Arancha Pelarda, pela disponibilidade, e à equipa técnica composta pela Maria José Zafra Ortiz, Miquel Ángel Martínez Medina, Laura Tanco Ballesteros e António Riviera, pela sua constante disponibilidade quando necessitei de algum dado mais específico.

Quero deixar também um sincero agradecimento à minha orientadora, a Professora Doutora Maria Manuela Malhado Simões Ribeiro, pelo carinho, apoio e ajuda demonstrados, e também ao meu co-orientador, o Professor Doutor Miguel Ángel Pérez Martín, cuja ajuda e conhecimento de toda a bacia foram fundamentais para as linhas de orientação que este trabalho teve.

Um especial agradecimento ao Professor Doutor José António de Almeida, incansável na dedicação e abordagem geostatística dos dados, pelos surpreendentes resultados obtidos.

Por fim, e de um modo geral, gostaria de agradecer a todos os professores com quem tive oportunidade de estudar e conhecer pois, não só me enriqueci a nível académico e científico, mas sobretudo a nível pessoal, tornando-me uma pessoa melhor.

## Resumo

A Demarcação Hidrográfica do Júcar é uma região predominantemente agrícola onde são notórios os problemas associados à contaminação das águas subterrâneas por nitratos derivados das práticas agrícolas. Neste trabalho, foi feita uma abordagem estatística da série histórica de registos, de 1969 até 2012, a fim de compreender os problemas relacionados com a contaminação por nitratos, a sua origem, dimensão e previsão. Foram feitas correlações entre a precipitação anual e as concentrações de nitratos observadas nos pontos de monitorização, tendo por objectivo encontrar uma possível influência climática nos índices de contaminação. Desta abordagem, resultaram predominantemente coeficientes de correlação negativos nas litologias carbonatadas, que traduzem o efeito de diluição e descida na concentração de nitrato. Nas litologias detríticas, os coeficientes de correlação são maioritariamente positivos, o que significa maior concentração de nitrato em consequência da lixiviação durante os episódios de precipitação. Foi feita uma abordagem geoestatística dos dados estudados, tendo-se concluído que estes mostram uma óptima correlação temporal e uma razoável correlação espacial. Assim, foi possível projectar uma estimação em que, nas três dimensões do espaço, o plano corresponderia a uma projecção bidimensional, enquanto que a terceira direcção seria atribuída ao tempo. Na análise de validação cruzada, resultou que, para o cálculo da estimação, estariam disponíveis, para cada ano, uma faixa temporal de três, antes e após o ano a estimar, sendo possível buscar dados nessa faixa, quando não existissem dados para o ano a estimar. Foi também calculada uma simulação através do método de Simulação Sequencial Gaussiana, permitindo observar algumas das suas particularidades e, ao projectar-se a média de 350 simulações, foi possível obter uma representação visualmente mais verosímil do que a realizada através da estimação.

Palavras-Chave: Contaminação agrícola; Nitratos; Águas subterrâneas; Análise geoestatística. Confederação Hidrográfica do Júcar

## Abstract

The Júcar River Basin District has a very important agricultural pressure. Therefore, it is a concern of all region the groundwater contamination by nitrates. This work has made an approach to understand the nitrates problem in all region and observes which places have the highest concentrations, across the measurements series (1960 to 2012). Some correlations were made between the rainfall and the concentration variations, to find some climate influence in the nitrates concentration. Thus, it has been concluded that limestone rocks has more negative correlation coefficients than the positive ones. This is related to the mobility inside the limestone, because with the availability of rainfall, it is more likely the dilution of the nitrate content, due the speed and easiness of the groundwater flow. The reverse is noticed with the detrital rocks. In detrital rocks, the flow is made between the rock grains, with low speeds and the slow dragging of the nitrate. Since the wash over it is less efficient than limestone rocks, it is more likely in detrital rocks, with the rainfall, to occur an increase of the nitrate content, resulting on some correlation coefficients to be positive. With the geostatistical approach, it has been concluded by the variogram interpretation that the data has an optimal time correlation between data sampling and a reasonable spatial correlation. With this, it is possible to do a kriging estimation, where it was considered that the sampling points were bidimensional distributed, and the third spatial axis were attributed to the time. Thus, it was possible to do an estimation to every year where, due to cross-validation analysis, it was possible to find the best suited data in a range up to three years before or after the estimated year. To complete the geoestatistical approach, it has been made an Gaussian Sequential Simulation, with the representation of the average of 350 different simulations, to show a concentration surface.

Key-words: Agricultural contamination; Nitrates; Groundwater; Geostatistical analysis; Confederação Hidrográfica do Júcar

## **Lista de Abreviaturas**

MAS – Massa de Água Subterrânea

CHJ – Confederação Hidrográfica do Júcar

DHJ – Demarcação Hidrográfica do Júcar

UHG – Unidades Hidrogeológicas



# Índice de Matérias

Copyright .....	I
Dedicatória .....	II
Agradecimentos.....	III
Resumo .....	IV
Abstract .....	V
Lista de Abreviaturas.....	VI
Índice de Matérias .....	VII
Índice de Figuras .....	IX
Índice de Quadros .....	XI
1. Introdução .....	1
1.1 Justificação do trabalho e escolha do tema .....	1
1.2 Revisão bibliográfica.....	6
1.3 Objectivos e procedimentos .....	8
2. Enquadramento e caracterização da área de estudo .....	9
2.1 Enquadramento Territorial da Confederação Hidrográfica do Júcar .....	9
2.2 Clima .....	11
2.3 Uso do Solo .....	13
2.4 Geomorfologia e Enquadramento Geológico .....	18
2.5 Enquadramento hidrológico.....	21
2.6 Enquadramento hidrogeológico.....	23
3. Metodologia.....	27
3.1 Apresentação dos dados .....	27
3.2 Selecção e tratamento dos dados .....	28
3.3 Análise da concentração de nitratos .....	29
3.3.1 Eliminação de outliers .....	31
3.3.2 Análise de tendências .....	32
3.3.3 Correlação entre variáveis climáticas e a concentração de nitrato nas águas subterrâneas .....	33
3.3.4 Análise geoestatística.....	40
4. Caracterização da contaminação por nitratos .....	43
4.1 Análise qualitativa .....	43
4.2 Análise quantitativa.....	43
4.2.1 Avaliação de tendências.....	43
4.2.2 Correlações com variáveis climáticas .....	47
4.2.3 Estimação geoestatística por Krigagem: mapas da concentração máxima de nitrato .....	50
4.2.4 Estimação geoestatística por Krigagem: mapas da concentração média anual de nitrato .....	51

4.2.5	Simulação geoestatística por Simulação Sequencial Gaussiana: mapas da concentração de nitrato.....	57
5.	Conclusões.....	65
6.	Bibliografia.....	67
7.	Anexos .....	71

## Índice de Figuras

Figura 1.1 - Ciclo do azoto. ....	4
Figura 2.1 - Confederações Hidrográficas de Espanha. Em destaque, a CHJ. ....	9
Figura 2.2 – Comunidades autónomas e âmbito territorial da Confederação Hidrográfica do Júcar (CHJ), com indicação dos rios e povoações mais importantes. ....	10
Figura 2.3 - Distribuição da precipitação no ano hidrológico de 2010/11, valores em mm por ano, calculado pelo modelo PATRICAL (Pérez-Martín, 2005). ....	12
Figura 2.4 - Mapa dos usos do solo na região abrangida pela Confederação Hidrográfica do Júcar, dados de 2006. ....	14
Figura 2.5 - Unidades de Demanda Agrária (Zonas de agricultura de regadio), de acordo com a origem da água utilizada na rega: subterrânea, superficial ou mista.....	15
Figura 2.6 - Unidades de Sequeiro Agrícola (Zonas que são apenas irrigadas pela precipitação meteorológica), considerando o tipo de cultivo. ....	16
Figura 2.7 - Localização de indústrias susceptíveis de emitirem efluentes - a roxo as indústrias relacionadas com criação de gado ou com actividades agrícolas e a verde - os matadouros.....	17
Figura 2.8 - Modelo digital do terreno com representação das estruturas geomorfológicas mais importantes.....	18
Figura 2.9 - Mapa litológico da região abrangida pela CHJ. ....	20
Figura 2.10 - Falhas mais importantes na região da CHJ, a vermelho. ....	21
Figura 2.11 - Rios e Bacias hidrográficas da região da CHJ. ....	22
Figura 2.12 - Localização das MAS, permeáveis e impermeáveis ou de interesse local, situadas na CHJ. ....	24
Figura 2.13 – Mapa de isopiezas – representação de sentido de fluxo hídrico subterrâneo nas MAS, em 1970-74. ....	25
Figura 2.14 – Mapa de isopiezas relativo ao ano de 2008, com representação do sentido de fluxo hídrico subterrâneo nas MAS. ....	26
Figura 3.1 – Rede de pontos de monitorização com registos de concentrações de nitratos nas MAS. da CHJ. ....	27
Figura 3.2 - MAS excluídas do estudo por se relacionarem com aquíferos pouco produtivos ou só com interesse local. ....	28
Figura 3.3 – Histograma dos registos de concentração de nitratos por ano hidrológico. ....	29
Figura 3.4 – Curva da concentração de nitrato de alguns pontos da MAS código 080.107. Representação da linha de tendência de alguns pontos de monitorização tomados como exemplo. ....	30
Figura 3.5 - MAS seleccionadas para estudo mais detalhado.....	31
Figura 3.6 - Número de outliers eliminados por cada MAS. ....	32
Figura 3.7 - Classificação das MAS de acordo como tipo de rocha dominante. ....	39
Figura 3.8 - Componentes de um variograma, Fonte: <a href="http://www.petrobyte.com/quicksurf/manual/378.gif">http://www.petrobyte.com/quicksurf/manual/378.gif</a> .....	41

Figura 4.1 - Concentração do ião nitrato em alguns piezómetros na MAS, código 080.141, desde Outubro de 1972 a Fevereiro de 2000. A banda a azul representa um período de anos particularmente húmidos. ....	43
Figura 4.2 - Distribuição de tendências na concentração de nitrato nas MAS na área de estudo. ....	46
Figura 4.3 - Variograma e modelo teórico de melhor ajustamento tendo em conta os máximos de concentração de nitrato observados nos pontos de amostragem. O modelo teórico ajustado tem a seguinte equação: $\gamma = C03688,582 + SPH(C = 2439,223; a = 50000)$ . ....	50
Figura 4.4 - Estimação por Krigagem ordinária das concentrações máximas de nitrato observadas em toda a bacia. ....	51
Figura 4.5 - Variograma da variação temporal da concentração de nitrato, no mesmo ponto de monitorização; O modelo teórico ajustado tem a seguinte equação: $\gamma T = C0 = 0 + SPH1C1 = 450; a1 = 15 \text{ anos} + SPH2(C2 = 563,231; a2 = 500 \text{ anos})$ . ....	52
Figura 4.6 - Variograma usado para a estimação por Krigagem. A equação do modelo teórico ajustado é a seguinte: $\gamma H = C0 = 0 + SPH1C1 = 450; a1 = 3000m + SPH2(C2 = 563,231; a2 = 50000m)$ . ....	53
Figura 4.7 - Nuvem de dispersão dos valores estimados pela Krigagem vs valores observados nos piezómetros e estimação feita com a janela temporal de 3 anos. ....	54
Figura 4.8 - Nuvem de dispersão dos valores estimados pela Krigagem vs valores observados nos piezómetros e estimação feita com a janela temporal de 5 anos. ....	55
Figura 4.9 - Erro quadrático conforme a quantidade de anos considerados na estimação. ....	56
Figura 4.10 - Estimação por Krigagem simples, adoptando a direcção espacial <b>Z</b> para o tempo e uma janela temporal de 3 anos, para o ano 1970/71. ....	57
Figura 4.11 - Exemplo de duas simulações sequenciais gaussianas para o ano 1970/71. ....	58
Figura 4.12 - Resultado da Simulação Sequencial Gaussiana feita pela média de 350 simulações diferentes, para o ano de 1970/71. ....	58
Figura 4.13 - Resultado da Simulação Sequencial Gaussiana feita pela média de 350 simulações diferentes, para os anos de 1974/75 (A), 1984/85 (B), 1994/95 (C) e 2004/2005 (D). ....	60
Figura 4.14 - Resultado da Simulação Sequencial Gaussiana, feita pela média de 350 simulações diferentes, para o ano de 2011/12. ....	61
Figura 4.15 - Evolução temporal da contaminação acima dos 50 mg.L <sup>-1</sup> , feita pela média das 350 simulações, para os anos de 1974/75 (A), 1984/85 (B), 1994/95 (C) e 2004/2005 (D). ....	62
Figura 4.16 - Representação da média das simulações da Simulação Sequencial Gaussiana, feita pela média de 350 simulações diferentes, para o ano de 2011/12, com destaque das zonas com concentrações de nitrato superiores a 50 mg.L <sup>-1</sup> . ....	63

## Índice de Quadros

Quadro 2.1 - Comunidades Autónomas abrangidas pela CHJ e respectivas áreas. ...	11
Quadro 2.2 - Principais Bacias hidrográficas da CHJ. ....	22
Quadro 3.1 – Ordenação da precipitação para a MAS 080.140 considerando a série temporal de 1970/71 a 2011/12. ....	35
Quadro 3.2 – Distribuição de anos secos e anos húmidos, para algumas MAS (quadro integral disponível em anexo). ....	36
Quadro 3.3 – Organização das MAS, por grupos, de acordo com o tipo de rocha dominante. ....	38



# 1. Introdução

## 1.1 *Justificação do trabalho e escolha do tema*

A água é um bem de primeira necessidade. A garantia do acesso à água é fundamental à existência de todos os seres vivos e de importância acrescida para a subsistência do Homem. Não se trata de um uso apenas necessário para funções fisiológicas; desde cedo e de forma crescente foi adoptado o hábito de outros usos para este recurso. Nos tempos actuais e na maioria das sociedades, o uso é bastante abusivo e muitas das vezes insustentável.

Cerca de 97,5% da água do planeta Terra é salgada. Assim, a água doce representa apenas 2,5%. Da pequena percentagem de água doce cerca de 30,1% está armazenada no subsolo constituindo as águas subterrâneas.

As mudanças verificadas na captação e exploração de água subterrânea têm sido muito significativas nas últimas décadas. A mecanização e optimização dos métodos de extracção vieram não só trazer maiores consumos de água, como permitiram alcançar maiores profundidades para captação. Em grande parte, o uso de combustíveis fósseis e a electrificação dos mecanismos de perfuração e de extracção tiveram uma grande responsabilidade neste avanço.

Por várias razões, dentro dos recursos hídricos, as águas subterrâneas ocupam posição estratégica. Estão mais protegidas de contaminações por poluentes que possam ocorrer, verificando-se uma manutenção na sua qualidade comparativamente às águas superficiais. Têm uma distribuição mais alargada quanto às águas superficiais e não estão sujeitas a grandes variações sazonais de caudal.

Em regiões áridas ou semiáridas a água subterrânea é largamente usada na rega de campos agrícolas, como medida de compensação relativamente à indisponibilidade de água superficial. Actualmente, os usos habituais de água pelo Homem incluem, além da agricultura, usos domésticos e industriais, que podem ir desde as simples lavagens a consumos de grandes quantidades no processamento alimentar em larga escala.

Segundo a UNESCO (2004), de acordo com os dados da Comissão Económica Europeia, na maior parte dos países europeus a água subterrânea é a principal fonte municipal de água potável para uso doméstico.

Um bom planeamento de uma rede de captações de água subterrânea é fundamental para a preservação deste recurso. A sobreexploração poderá ter efeitos na intrusão salina em

aquíferos costeiros e no rebaixamento continuado de níveis piezométricos, com consequente subsidência de terrenos e deterioração da qualidade das águas.

Na região hidrográfica do Júcar, a água assume importância primordial. Em primeiro lugar, por condicionamentos climáticos. A maior parte da bacia tem características de clima semiárido, o que diminui substancialmente a disponibilidade de água superficial. Assim, para que haja água para os diferentes usos na região, é necessário uma eficaz gestão do recurso, para que seja possível uma perfeita articulação entre os vários consumidores. Essencialmente, há que assegurar água para o abastecimento urbano. Por se tratar de uma zona turística de excelência, os consumos de água associados à hotelaria são bastante elevados. A forte componente industrial obriga também a precaver o fornecimento a este consumo. Porém, é no sector agrícola onde se registam os mais elevados consumos de água. Segundo os dados de 2005, fornecidos pela Confederação Hidrográfica do Júcar (CHJ), estima-se que sejam consumidos anualmente, para fins agrícolas, cerca de 2.452 hm<sup>3</sup> de água.

Para manutenção de uma das maiores e mais produtivas zonas agrícolas de Espanha e da Europa, a importância dos recursos hídricos é inestimável. Além do mais, as práticas agrícolas, geração após geração, já fazem parte da identidade cultural da região, sendo impossível dissociar a população de Valência da agricultura.

Tal como aconteceu no passado e como se irá perpetuar no futuro, facilmente se compreende que a água é necessária para o desenvolvimento económico da região. Assim, torna-se necessário o desenvolvimento de instrumentos de gestão dos recursos hídricos com vista à sua conservação, visto que a procura excede a oferta, não sendo sustentável o seu gasto indiscriminado.

Segundo a legislação Espanhola, em 1985 foram decretados alguns conceitos importantes tais como a consideração holística do ciclo da água, a extensão do domínio público a todos os recursos hídricos e a planificação hidrológica como instrumento de gestão e de actuação pública. Desta forma, com recurso ao planeamento, o Estado Espanhol consegue gerir os seus recursos hídricos de forma ordenada e mais vocacionada para o desenvolvimento colectivo. Foram assim lançadas as bases para o planeamento e gestão integrada dos recursos hídricos.

Mais recentemente, em Outubro de 2000, foi publicada a Directiva Quadro da Água (DQA), destinada a uniformizar, a nível europeu, as políticas de gestão da água a adoptar pelos diversos Estados Membro. Tendo em vista objectivos comuns, foi deixado ao critério de cada país a aplicação de medidas mais adaptadas às suas particularidades. Como objectivos gerais da DQA são consideradas as melhorias ambientais e de protecção dos ecossistemas, a promoção de um consumo de água sustentável a longo prazo, controlo das emissões e



perdas de substâncias susceptíveis de corromper, a nível qualitativo, as massas de água e a tomada de medidas que assegurem a protecção das águas subterrâneas. Com este instrumento legislativo, toda a Europa consegue, em uníssono, uma gestão integrada da quantidade e da qualidade de todos os recursos hídricos, com vista à melhoria da qualidade ambiental, preservando e melhorando os ecossistemas, salvaguardando o uso sustentável da água.

À parte da componente quantitativa, é muitas vezes na qualidade que se manifestam importantes problemas, sendo por isso o principal enfoque do presente trabalho a contaminação de águas subterrâneas por nitratos provenientes de práticas agrícolas na região de Valência.

Nesta região, é comum a existência de aquíferos fortemente contaminados por nitratos, normalmente localizados em zonas com uma forte componente agrícola. Estão documentadas, nalguns pontos de monitorização, concentrações que chegam a atingir os 300 mg.L<sup>-1</sup>. De todos os pontos de monitorização estudados (275), 174 apresentam concentrações de nitratos acima dos 50 mg.L<sup>-1</sup> regulamentados para máximo admissível em águas de consumo humano.

Os nitratos são compostos azotados. O azoto constitui cerca de 78% da atmosfera terrestre. É um gás de extrema importância para a vida na Terra, pois é fundamental para a constituição do grupo amida e dos aminoácidos presentes em todos os seres vivos. Na decomposição da matéria orgânica, estes compostos são transformados em amoníaco (através do processo de mineralização) que, por acção de bactérias nitrificantes, são oxidados, originando o ácido nítrico. O ácido nítrico, ao contactar com os carbonatos existentes no solo, dá origem aos nitratos. Durante a decomposição da matéria orgânica, parte do azoto liberta-se no estado livre para a atmosfera, assim como o azoto originado pela queima de combustíveis fósseis. As bactérias desnitrificantes, em ambientes sem oxigénio, podem decompor o ião nitrato, extraindo o oxigénio e libertando o azoto livre para a atmosfera. O nitrato é a forma oxidada do azoto que é assimilável pelas plantas. As bactérias desnitrificantes têm a função de manter o equilíbrio entre o azoto livre, não assimilável, e o nitrato. Assim, quando a matéria orgânica se transforma em matéria morta, parte do azoto que a compõe volta para o solo e outra parte retorna ao estado livre atmosférico.

Os processos mencionados, de nitrificação e desnitrificação (Figura 1.1), conduzem gradualmente à passagem do azoto oxidado a azoto livre. No entanto, se assim continuasse, a vida na Terra ter-se-ia extinguido por falta de azoto oxidado disponível para uso vegetal. Para compensar, existe a fixação do azoto livre atmosférico através de descargas eléctricas atmosféricas que, em reacção com as moléculas de água, originam ácido nítrico. Por sua vez, o ácido nítrico no solo dá origem a nitratos. Outra forma para produção de compostos

azotados é através das nitrobactérias que efectuam directamente a fixação do azoto livre atmosférico, disponibilizando-o para utilização da vegetação.

Artificialmente ocorre fixação do azoto atmosférico para produção de nitrato sintético, que é utilizado na adubação dos campos agrícolas. Este processo é energeticamente muito dispendioso, uma vez que a molécula de azoto livre é muito estável, implicando a sua fissão.

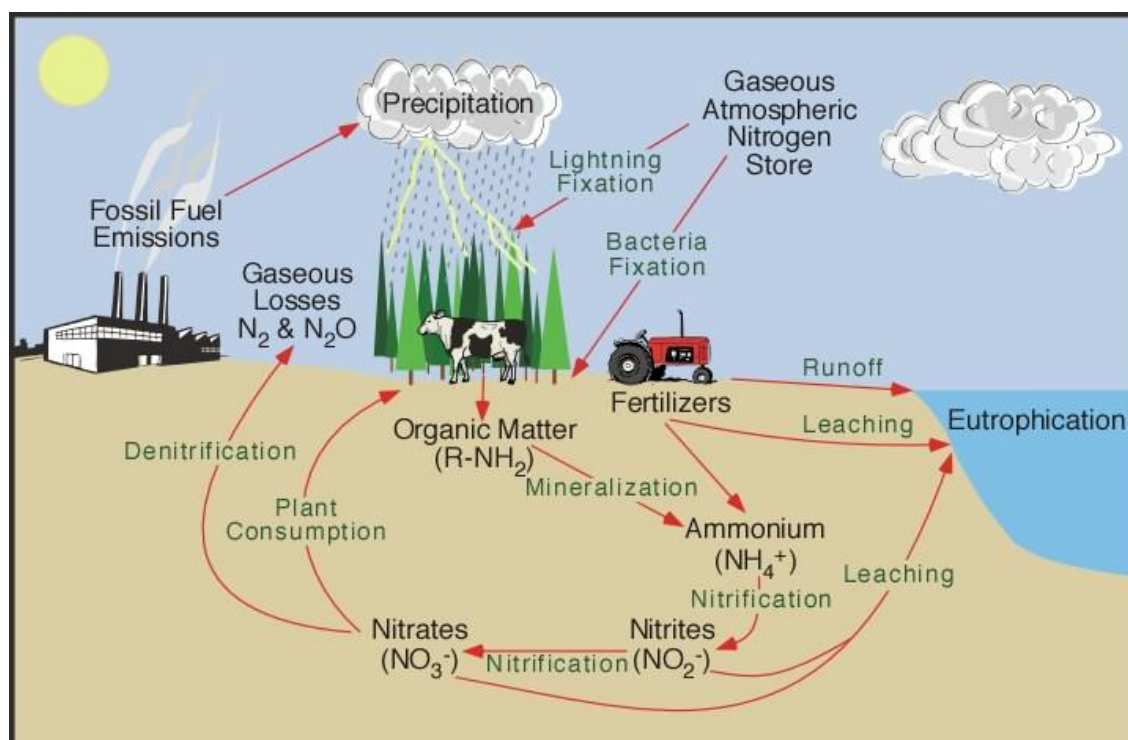


Figura 1.1 - Ciclo do azoto.

Fonte: <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/images/nitrogencycle.jpg>

A produção agrícola de alimentos e fibras é essencial e estratégica para qualquer sociedade. (Kiely, G., 1999). Segundo Suarez-Varela *et al.*, (1998), as actividades agrícolas constituem a causa mais importante da contaminação por nitratos, quer em volume quer em área. No caso da agricultura intensiva, o problema surge acrescido devido às elevadas quantidades de fertilizantes.

São consideradas contaminações pontuais quando a área da fonte emissora é inferior a um acre (0,4 ha). As fontes de contaminação superiores a esta dimensão são consideradas difusas (Carapeto, 1999).

De acordo com Gill (1996), grande parte do nitrato é usado como fertilizante onde juntamente com a sua alta solubilidade é lixiviado para os cursos de água, rios e lagos, originando sérios problemas de poluição.

Segundo Santos (2001), a poluição com base nos compostos azotados pode atingir quer as águas superficiais quer as águas subterrâneas. Nas águas subterrâneas ocorre o arrastamento do ião nitrato, através do perfil do solo, cuja forma não é susceptível de retenção física nem química; a biológica, quando existe, tem um carácter temporário.

A contaminação das águas subterrâneas por nitratos acarreta vários impactos no meio ambiente e na saúde humana. No que diz respeito à componente ambiental, os nitratos são nutrientes que, juntamente com o fósforo, podem resultar em fenómenos de eutrofização, deteriorando a qualidade da água. Quanto à saúde humana, os nitratos têm importantes impactos que devem ser mitigados. O mais grave é designado por metahemoglobinémia, que resulta da passagem de nitrato a nitrito, num processo que reduz a quantidade de oxigénio em circulação no sangue, provocando asfixia e consequente morte. Isto acontece especialmente em bebés por não terem um sistema digestivo desenvolvido capaz de processar o nitrato como os adultos. Não menos graves são as formas de afectação da saúde nos adultos que estão relacionadas com cancros gástricos e malformações congénitas.

A lixiviação do azoto sob a forma de nitrato é a trajectória principal pela qual se mobiliza o azoto nos sistemas agrícolas. Apesar do nitrato ser a forma de azoto consumida pelas plantas, apenas uma pequena parte é absorvida por estas através do solo, ficando em solução, onde cria uma união altamente mobilizável que facilmente se arrasta em profundidade através do perfil do solo.

A maneira como o nitrato alcança as águas subterrâneas é influenciada por diversos factores, como a abundância do ião, a relação carbono-azoto, o tipo de solo, a profundidade da água subterrânea, o tipo de plantação, a época do ano e variáveis climáticas.

O tipo de solo condiciona a lixiviação do nitrato através do controlo da velocidade e da quantidade de escoamento em profundidade. Os solos com drenagem facilitada, como areias, cascalheiras e carsos, têm facilidade em transmitir grandes quantidades de água, juntamente com substâncias dissolvidas como os nitratos.

Como a água é o agente locomotor do nitrato, a existência de drenagem da água através do perfil do solo assim como a disponibilidade de nitrato vai determinar a extensão da sua lixiviação. No geral, o movimento descendente da água através do perfil do solo acontece quando a precipitação excede a evapotranspiração e a humidade armazenada no solo. Normalmente acontece quando a actividade vegetal é diminuta ou inexistente.

O problema da contaminação das águas por nitratos está também relacionado com a fonte e o tipo de compostos associados. No caso da agricultura trata-se de contaminação difusa por compostos azotados. Associados a estes podem surgir compostos de fósforo, matéria orgânica, bactérias e pesticidas, pelo que é importante controlar e salvaguardar a

contaminação das massas de água subterrâneas. Igualmente relacionada com a agricultura está a criação de gado. Os excrementos dos animais dizem respeito aos restos parcialmente digeridos da ingestão de alimentos com quantidades variáveis de água, numa mistura de restos vegetais, sais minerais e dióxido de carbono que, juntamente com a carga bacteriana originária do tracto digestivo, originam importantes fontes de contaminação.

No que toca às emissões urbanas, estas têm a sua problemática mais voltada para as emissões bacteriológicas, em associação com as contaminações por nitrato. Apesar de se tratar de contaminação pontual estas poderão ter elevada carga bacteriológica, degradando a qualidade das massas de água por elas afectadas. Igualmente, na contaminação pontual enquadram-se as emissões industriais. Neste caso, com as emissões industriais poderão estar associadas concentrações anómalas de nitrato e de metais pesados. Destaca-se a indústria de explosivos cujo principal componente é o nitrato, associado a outros iões susceptíveis de contaminarem fortemente os solos e as massas de água, quer superficiais quer subterrâneas.

Por estas e por outras razões, o tema do presente trabalho é actual. Transpõe as preocupações e problemáticas vividas, constituindo um contributo para o futuro planeamento dos recursos hídricos da região hidrográfica do Júcar.

## 1.2 Revisão bibliográfica

O presente trabalho começou com a pesquisa e consulta bibliográfica relativa à bacia Hidrográfica do Júcar. Neste âmbito, destacam-se os seguintes trabalhos e estudos gentilmente cedidos pela Confederação Hidrográfica do Júcar:

- *Esquema De Temas Importantes Para La Planificación Hidrológica En La Demarcación Hidrográfica Del Júcar* – Confederación Hidrográfica del Júcar, Abril de 2013;
- *Informe Sobre La Caracterización Básica de las Masas de Agua Subterránea de la Confederación Hidrográfica del Júcar* – Condeferación Hidrográfica del Júcar e Instituto Geológico y Minero de España, Abril de 2011;
- Documento Técnico de Referencia: *Identificación y Delimitación de Masas de Agua Superficial y Subterránea* – Confederación Hidrográfica del Júcar, Abril de 2009;
- *Estudio General Sobre La Demarcación Hidrográfica Del Júcar* – Confederación Hidrográfica del Júcar, Julho de 2007;
- *Plan Especial de Alerta y Eventual Sequía en la Confederación Hidrográfica del Júcar* – Confederación Hidrográfica del Júcar, Março de 2007;
- *Plan Hidrológico de Cuenca Del Júcar, Memoria* – Confederación Hidrográfica del Júcar, Agosto de 1997;

Todos estes documentos estão especificamente vocacionados para a região em estudo e foram importantes para a compreensão e enquadramento do problema à situação actual.

Por outro lado, no que toca à problemática associada aos nitratos e às águas subterrâneas, foram consultados trabalhos recentes de Martinez J., 2010 sobre "*Análise da Viabilidade de Aplicação de Tecnologias de Remediação Ambiental In Situ para Redução das Concentrações de Nitratos em Águas Subterrâneas, Costa de Caparica, Portugal*"; Morales Suarez-Varela *et al.*, 1998 sobre "*Nitrate Concentrations In Drinking Water and the Relation to Different Crop Types Production in the Province of Valencia (Spain)*", "*Groundwater Resources Of The World And Their Uses*" (UNESCO, 2004) e "*Hidrologia Subterránea*" (Custodio, E. & Llamas, M.R., 1996).

Para o tratamento geoestatístico tomou-se como referência a obra "*Geoestatística para as Ciências da Terra e do Ambiente*" de Amílcar Soares, 2000. Apesar de se tratarem de outra área mas, por possuírem uma forte componente geoestatística, consideraram-se os trabalhos de Gusmão, 2008, sobre "*Caracterização da Radioactividade Ambiente e Contributo para Análise de Risco*", Baldé, 2012, sobre "*Modelação de depósitos minerais amostrados por suportes irregulares - O caso de estudo do depósito de Farim-Saliquinhé na Guiné-Bissau*" e, do mesmo autor, datado de 2008, "*Caracterização e Avaliação de Reservas Geológicas do Depósito Mineral de Farim – Salaquinhé*".

Para uma compreensão da problemática em estudo foi abordado um caso português de contaminação de águas subterrâneas por nitratos, em Beja, por Paralta e Ribeiro (2003) sobre "*Monitorização e Modelação Estocástica da Contaminação por Nitratos do Aquífero Gabro-diorítico na Região de Beja – Resultados, Conclusões e Recomendações*". O estudo teve implícita uma campanha de amostragem, entre 1997 e 2000, com consequente análise dos resultados de contaminação por nitratos. Tal como acontece no caso de estudo, alguns aquíferos já estão marcadamente contaminados, devido à intensa actividade agrícola que se pratica na região. Existe a ocorrência de valores extremos anómalos, representantes de casos pontuais de contaminação, sem significado regional. Desse estudo resultou que o conteúdo em nitratos nas águas subterrâneas varia sazonalmente, fruto das práticas agrícolas e da distribuição das chuvas. A irregularidade climática associada a regimes torrenciais incrementa a lixiviação dos nitratos para aquíferos pouco profundos. No que toca à abordagem geoestatística, foi aplicado um estimador por Krigagem ordinária para representar imagens da evolução espaço-temporal da contaminação por nitratos durante o período de estudo da região de Beja (entre 1997 e 2000). Este método permitiu a estimação das concentrações de nitrato em áreas não amostradas, o que proporcionou uma visualização geral de toda a área de estudo.

### *1.3 Objectivos e procedimentos*

O presente estudo tem como objectivo a análise e avaliação das concentrações de nitrato nas águas subterrâneas no âmbito da Confederação Hidrográfica do Júcar, em Espanha, em resultado de actividades humanas. Partindo de uma série temporal de valores de concentração de nitrato, medidos em piezómetros situados na região hidrográfica, procedeu-se, em primeiro lugar, à avaliação da distribuição espacial das concentrações de nitrato pelas massas de água e, de seguida, tentou-se relacionar o padrão de distribuição das concentrações do ião nitrato com o clima da região e o tipo de litologia da massa de água subterrânea. Para compreender e representar a distribuição espacial do nitrato pelas massas de água, fez-se uma análise geoestatística dos dados, incluindo a estimação pelo método da Krigagem e a simulação pelo método da Simulação Sequencial Gaussiana.

## 2. Enquadramento e caracterização da área de estudo

### 2.1 Enquadramento Territorial da Confederação Hidrográfica do Júcar

A CHJ, organismo pertencente ao Governo de Espanha, está sob a alçada da Direcção-Geral da Água que, por sua vez, está inscrita na Secretaria de Estado do Meio Ambiente, pertencente ao Ministério da Agricultura, Alimentação e Meio Ambiente.

É um organismo autónomo que tem como principais funções a elaboração, revisão e melhoramento do Plano de Bacia Hidrográfica, a administração e gestão do Domínio Público Hidráulico, a gestão e construção de obras hidráulicas de interesse comunitário e a aplicação de medidas de gestão que possam provir de acordos entre as autonomias ou entidades públicas ou privadas. A CHJ foi constituída em Julho de 1935, passando desde então a dar corpo administrativo à gestão da água nas bacias hidrográficas sob a sua alçada, desde 1865.

Tal como existe um âmbito de actuação para a CHJ existe também, para cada bacia hidrográfica, uma confederação competente no território espanhol. A Figura 2.1 mostra a configuração do território em termos de confederações hidrográficas.

Neste capítulo serão apresentadas algumas imagens originadas a partir de temas de sistemas de informação geográfica cedidos pela CHJ para o presente trabalho.

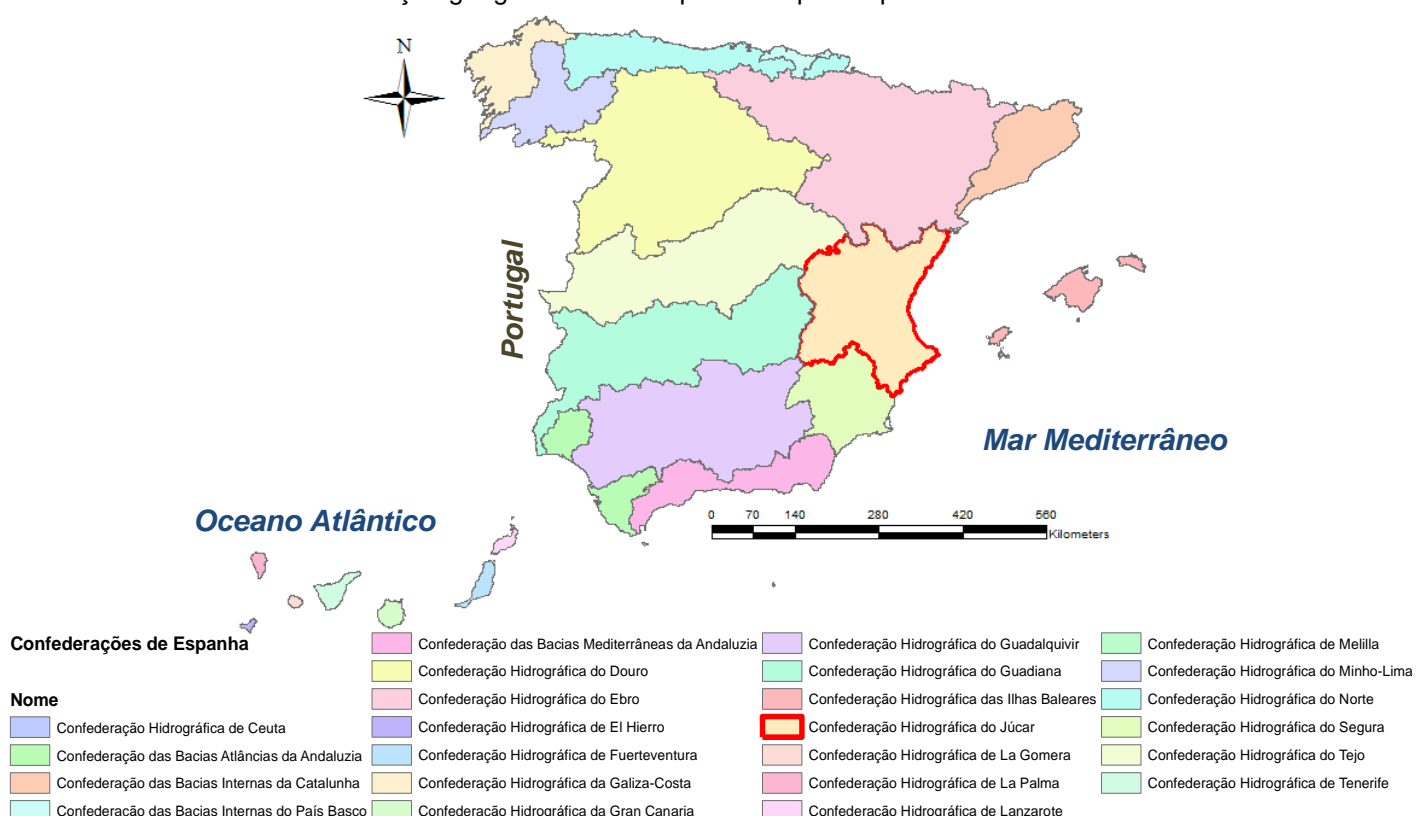
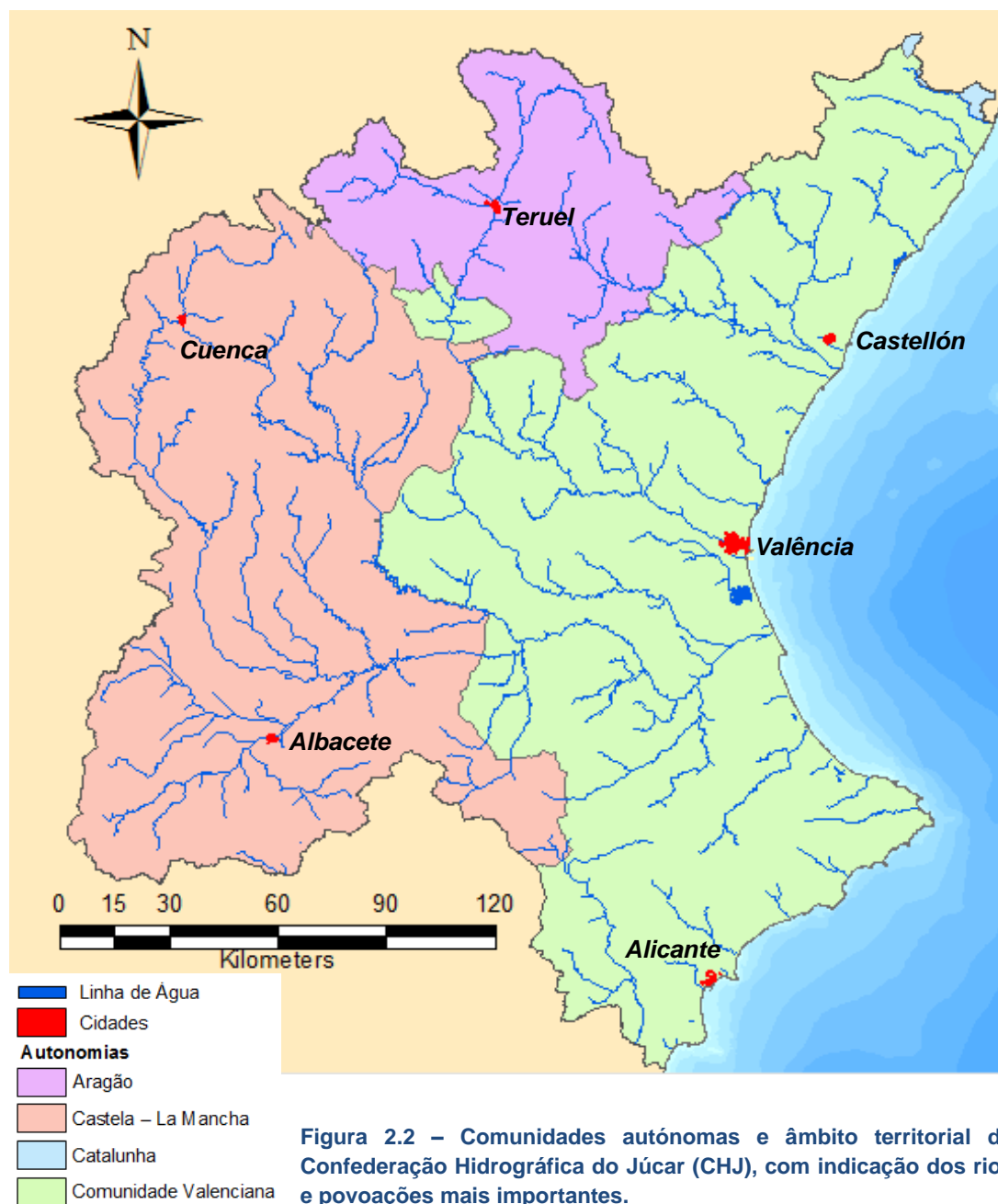


Figura 2.1 - Confederações Hidrográficas de Espanha. Em destaque, a CHJ.



A CHJ abrange todas as bacias hidrográficas que vertem as suas águas para o mar Mediterrâneo, desde a margem esquerda da foz do Rio Segura até à foz do Rio Cénia, incluindo a bacia deste último e a bacia endorreica do Pozohondo (Figura 2.2).



O âmbito territorial da CHJ alberga as Comunidades Autónomas de Aragão, Castela - Mancha, Catalunha e Comunidade Valenciana (Quadro 2.1; Figura 2.2). No total compreende a extensão de 42.851 km<sup>2</sup>; abrange totalmente as províncias de Valência e, em parte, as de Albacete, Alicante, Castellón, Cuenca e Teruel e uma pequena parcela de Tarragona.



**Quadro 2.1 - Comunidades Autónomas abrangidas pela CHJ e respectivas áreas.**

Comunidade Autónoma	Área (km <sup>2</sup> )	Área da bacia (km <sup>2</sup> )	Área ocupada em relação à CHJ (%)
Aragão	47.730	5.386,26	12,57
Castela-Mancha	79.412	16.161,89	37,71
Catalunha	32.204	86,48	0,20
Comunidade Valenciana	23.265	21.216,37	49,52
Total	182.611	42.851,00	100

## 2.2 Clima

Na região em estudo o clima é predominantemente mediterrânico, com Verões quentes e secos e Invernos suaves. A excepção a este padrão climático é a chamada “gota fria”, um fenómeno excepcional que costuma acontecer nos meses de Setembro e Outubro e que se caracteriza por precipitações muito fortes e muito concentradas no espaço e no tempo, originando, recorrentemente, inundações dentro e fora dos centros urbanos.

A precipitação média anual na região situa-se em torno dos 500 mm. Pela região se localizar numa zona de dupla influência climática muito distinta (Europa e África), a precipitação pode variar entre valores acima de 750 mm, nas zonas mais montanhosas e de cabeceira, e abaixo dos 300 mm nas zonas junto à costa (Figura 2.3).

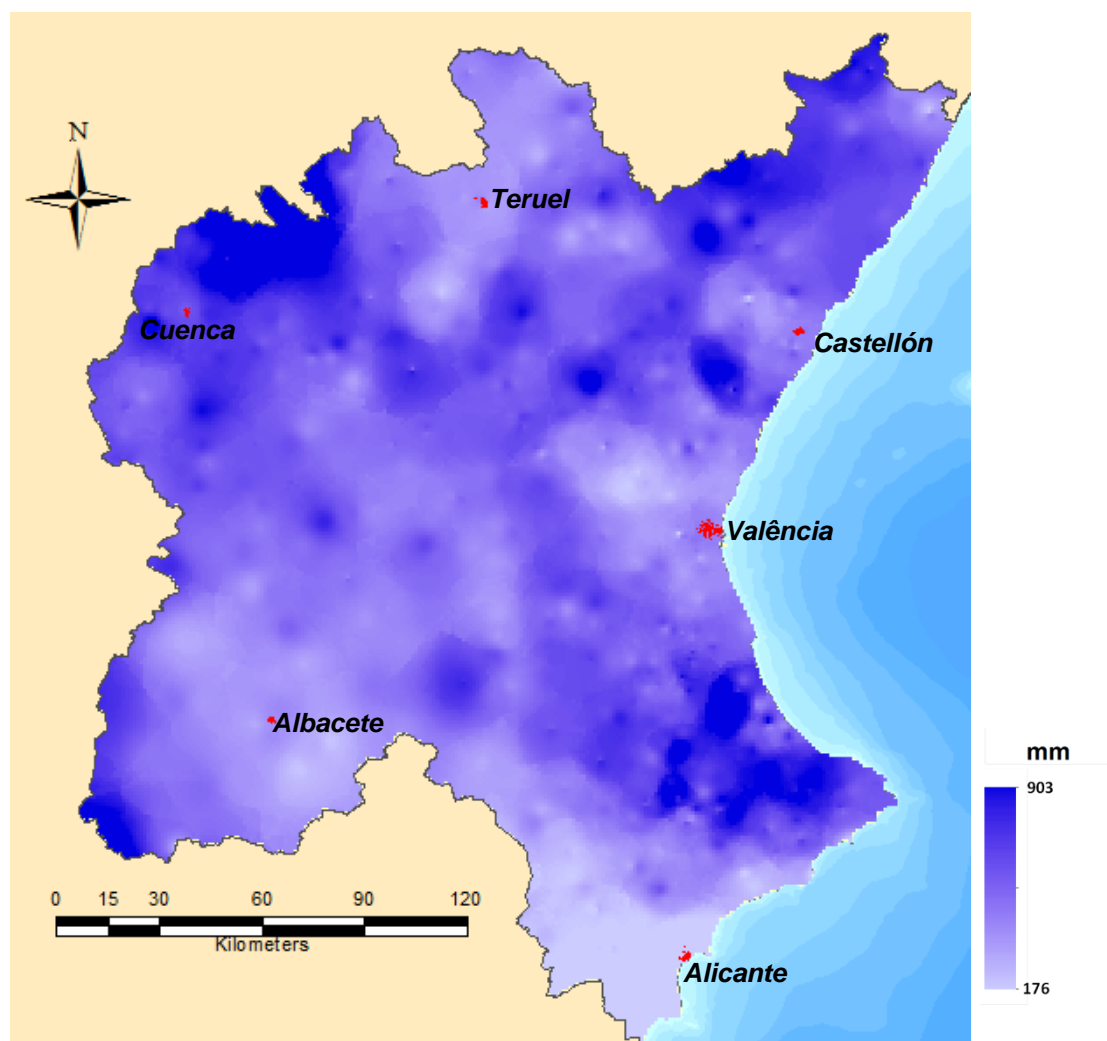


Figura 2.3 - Distribuição da precipitação no ano hidrológico de 2010/11, valores em mm por ano, calculado pelo modelo PATRICAL (Pérez-Martín, 2005).

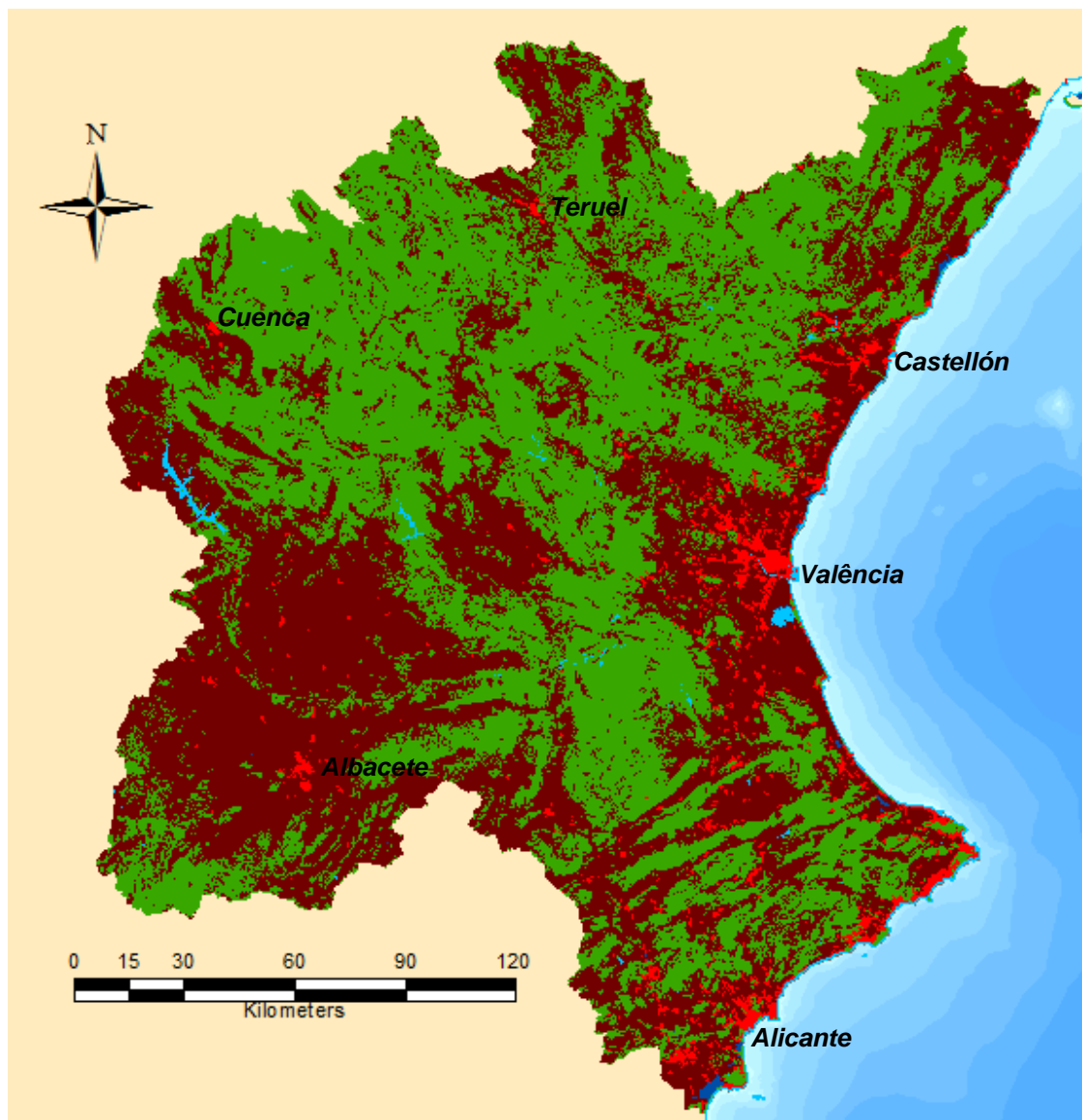
## 2.3 *Uso do Solo*

Segundo o Estudio General sobre la Demarcación Hidrográfica del Júcar de Julho de 2007, o uso do solo na CHJ distribui-se da seguinte forma:

- Cerca de 50% em zonas semi-naturais e florestais;
- 36% em zonas agrícolas com agricultura de sequeiro;
- 10% em zonas agrícolas com agricultura de regadio;
- 3% em zonas urbanas e industriais;
- 1% em zonas húmidas e planos de águas interiores.

O uso predominante do solo está nas zonas semi-naturais e florestais. Em segundo lugar, surge a nível de representatividade espacial o sector agrícola, com uma abrangência de cerca de 46% da área, desempenhando por isso um importante papel no condicionamento ambiental da região.

Tendo em conta as actividades económicas da região (Figura 2.4), é o sector dos serviços que se destaca, em muito impulsionado pelo turismo, abarcando cerca de 65% da riqueza produzida. O segundo sector mais importante é o da indústria, ao que lhe compete 28% de produção de riqueza. Seguem-se os sectores da agricultura (3% de produção de riqueza) e o energético (4% de produção de riqueza) com praticamente o mesmo nível de produção de riqueza.

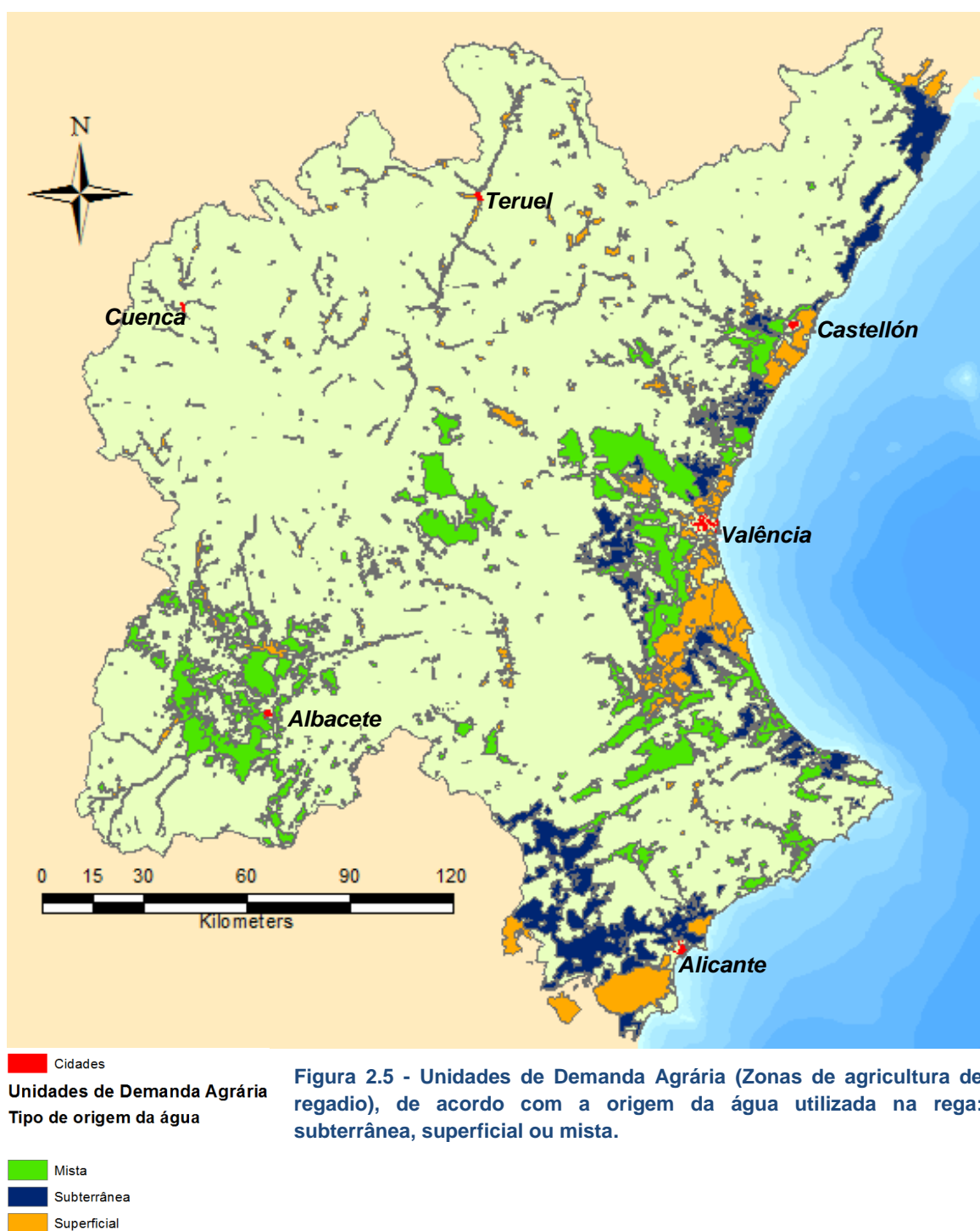


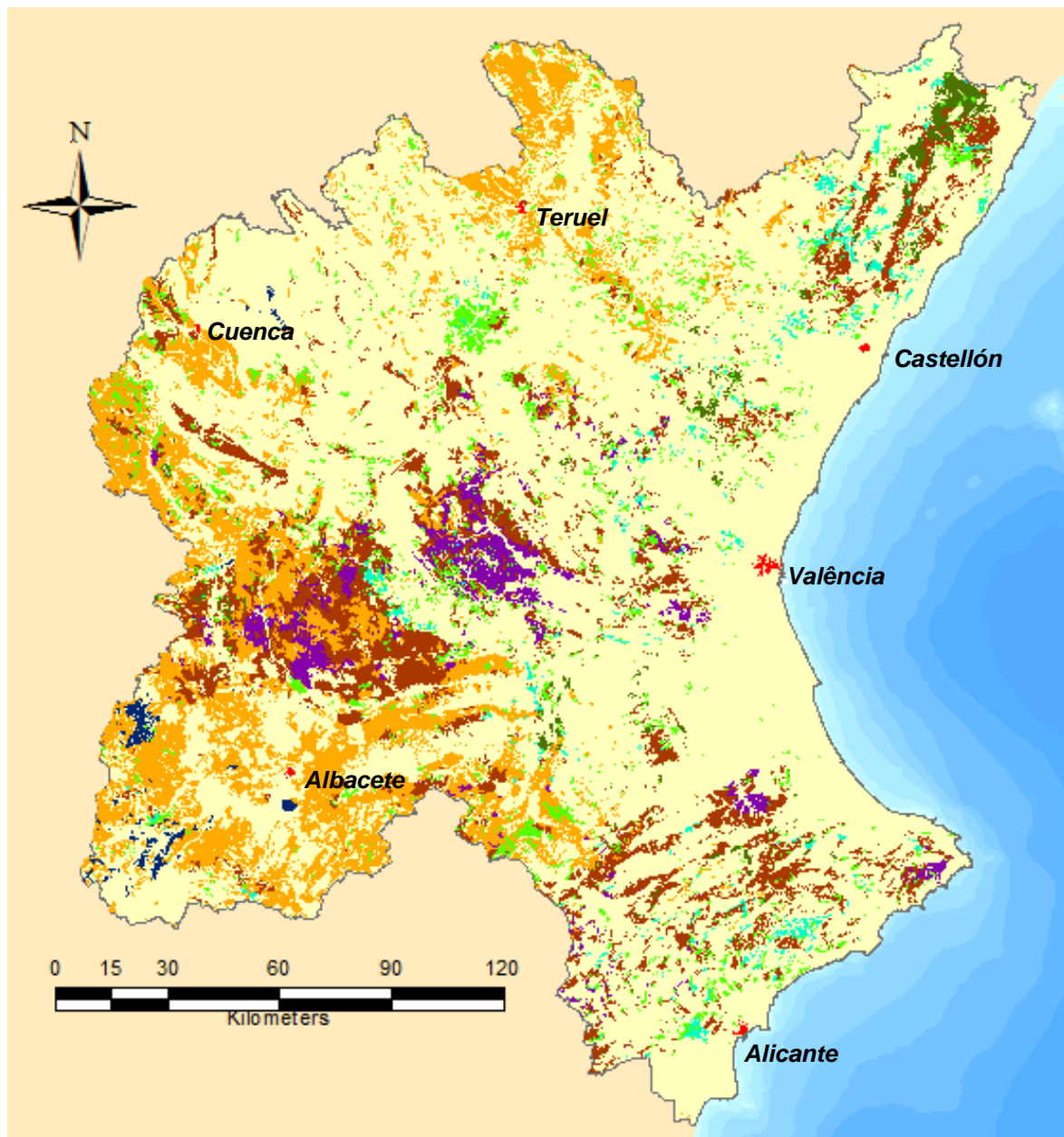
- Usos do solo**
- Superfícies Artificiais
  - Superfícies Aquáticas
  - Zonas agrícolas
  - Zonas florestais e Semi-naturais
  - Zonas húmidas

**Figura 2.4 - Mapa dos usos do solo na região abrangida pela Confederação Hidrográfica do Júcar, dados de 2006.**

Na bacia praticam-se a agricultura de regadio e de sequeiro. No regadio predominam as culturas de produtos hortícolas e pomares onde a água pode ter origem superficial ou subterrânea. Quando a rega dos campos se efectua, alternada ou conjuntamente, com estes dois tipos de águas, denomina-se de origens mistas. Na agricultura de sequeiro, normalmente associada a cereais, a precipitação natural é a única fonte de rega (Figura 2.5 e Figura 2.6).

Os fertilizantes utilizados para os dois tipos de agricultura são semelhantes. A agricultura de regadio, como tem rega associada, tem uma maior responsabilidade no arraste do nitrato pela água para o subsolo, tendo responsabilidade acrescida na contaminação das Massas de Água Subterrânea (MAS). Quanto à agricultura de sequeiro, apesar de utilizar o mesmo tipo de adubos, o nitrato apenas é arrastado pela precipitação meteorológica.





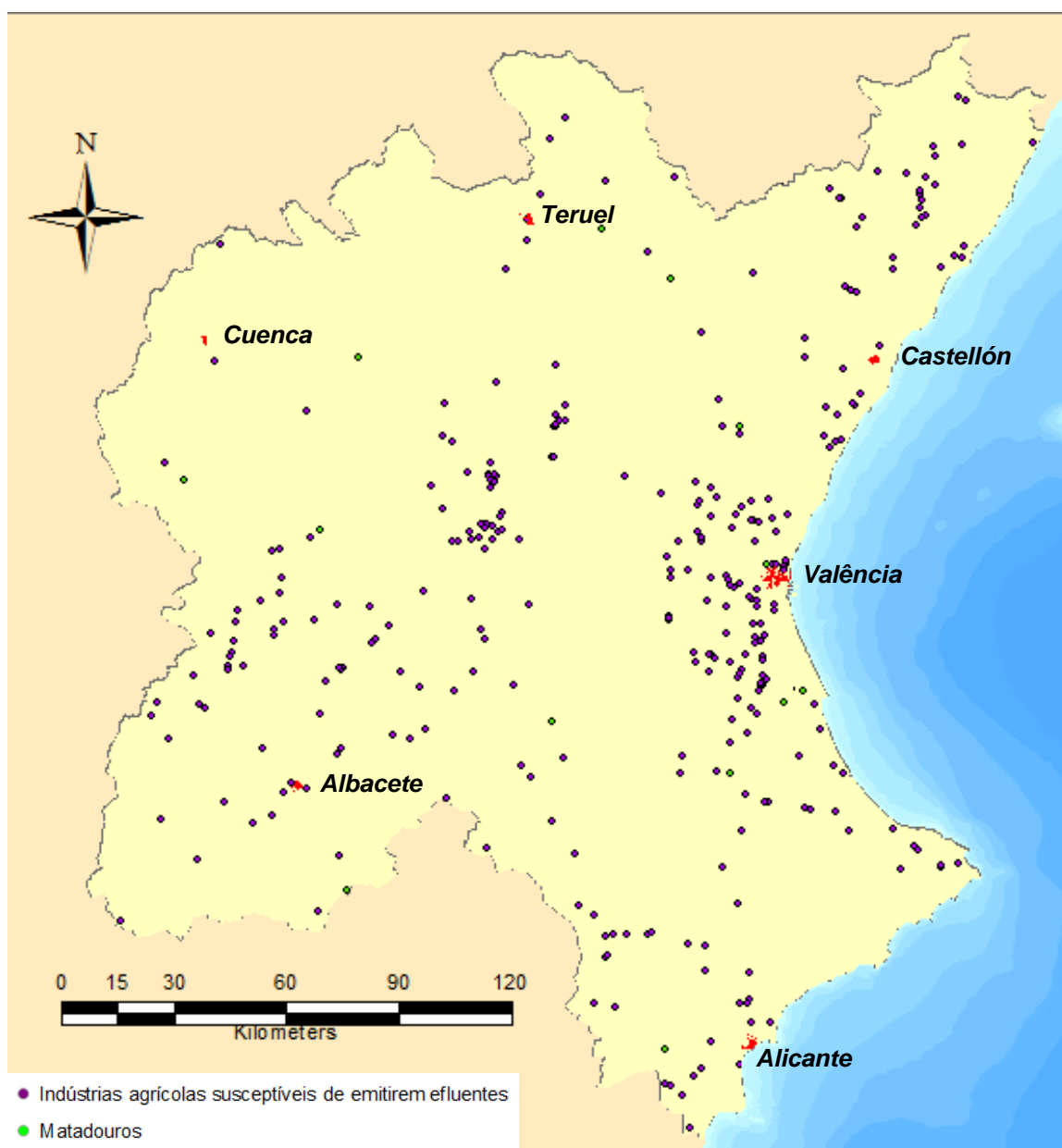
■ Cidades

**Unidades de Sequeiro Agrícola**  
**Descrição do Cultivo**

- Pomares de sequeiro
- Mosaico de cultivos
- Olivais
- Pradarias
- Sistemas agroflorestais
- Terrenos Agrícolas/Naturais
- Cereais
- Vinha

**Figura 2.6 - Unidades de Sequeiro Agrícola (Zonas que são apenas irrigadas pela precipitação meteorológica), considerando o tipo de cultivo.**

As indústrias com potencial para constituírem fontes de contaminação pontual por nitratos são as que se relacionam com a criação ou abate de gado. Se os seus efluentes não forem encaminhados e tratados convenientemente, poderão constituir potenciais fontes de contaminação, afectando a qualidade das MAS. Para que se compreenda a importância destas indústrias na região, a Figura 2.7 mostra, a roxo, a localização de actividades relacionadas com criação de gado ou com a agricultura como, por exemplo, a pecuária, enquanto os pontos verdes dizem respeito a matadouros.



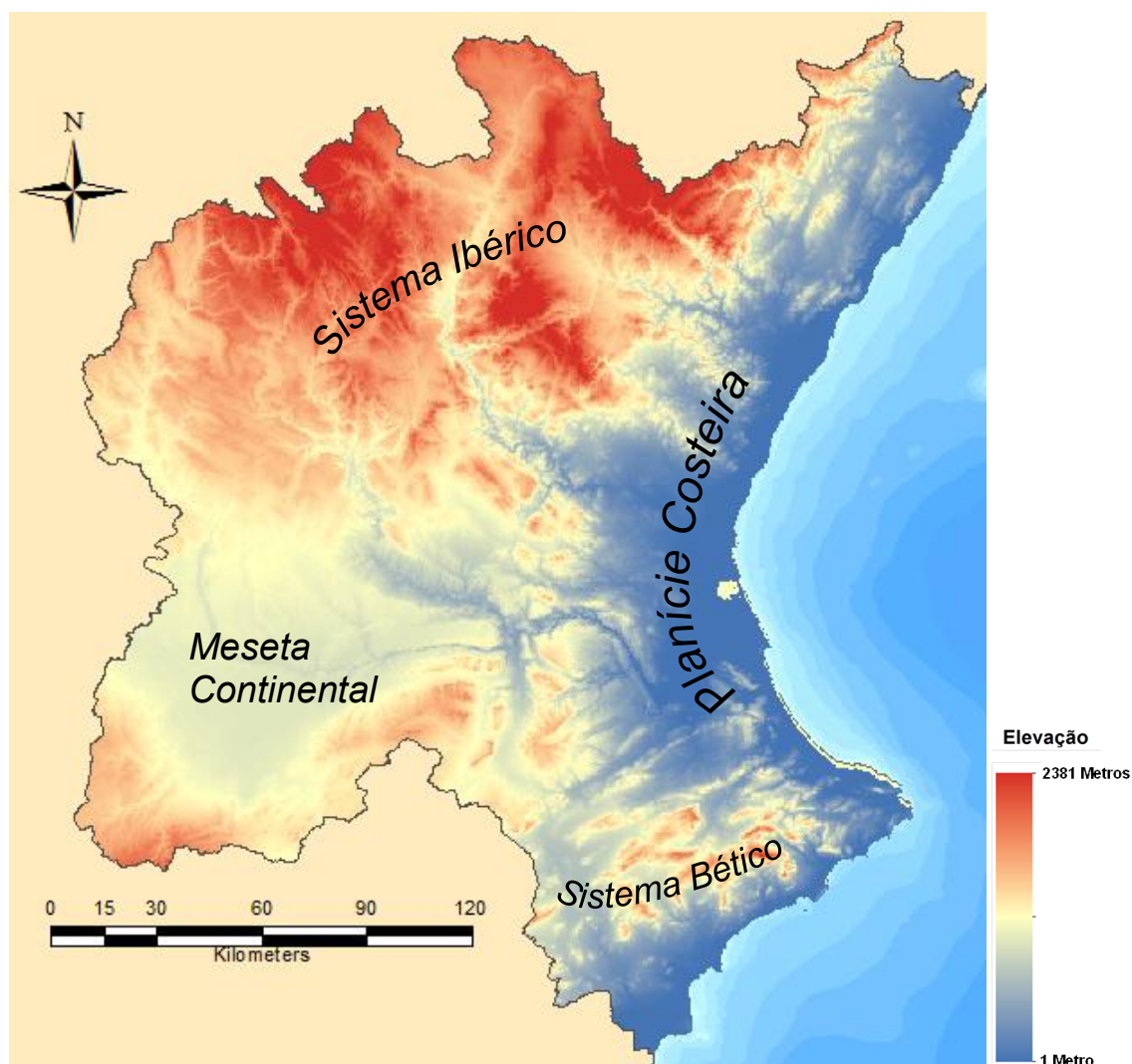
**Figura 2.7 - Localização de indústrias susceptíveis de emitirem efluentes - a roxo as indústrias relacionadas com criação de gado ou com actividades agrícolas e a verde - os matadouros.**



## 2.4 Geomorfologia e Enquadramento Geológico

A DHJ apresenta três estruturas geomorfológicas importantes: os sistemas montanhosos, a planície costeira e a meseta continental (Figura 2.8).

No que respeita aos sistemas montanhosos, os mais importantes são o Sistema Ibérico, a Norte, onde se alcançam altitudes de 2024 metros. A Sul e Sudoeste, existe o Sistema Bético, com altitudes a rondar os 1200 metros. Por atingir altitudes elevadas, o Sistema Ibérico é o berço de diversos rios da DHJ, destacando-se o Júcar e o Túrria. Quanto ao Sistema Bético, este dá origem aos rios Serpis e Vinalopó.



**Figura 2.8 - Modelo digital do terreno com representação das estruturas geomorfológicas mais importantes.**

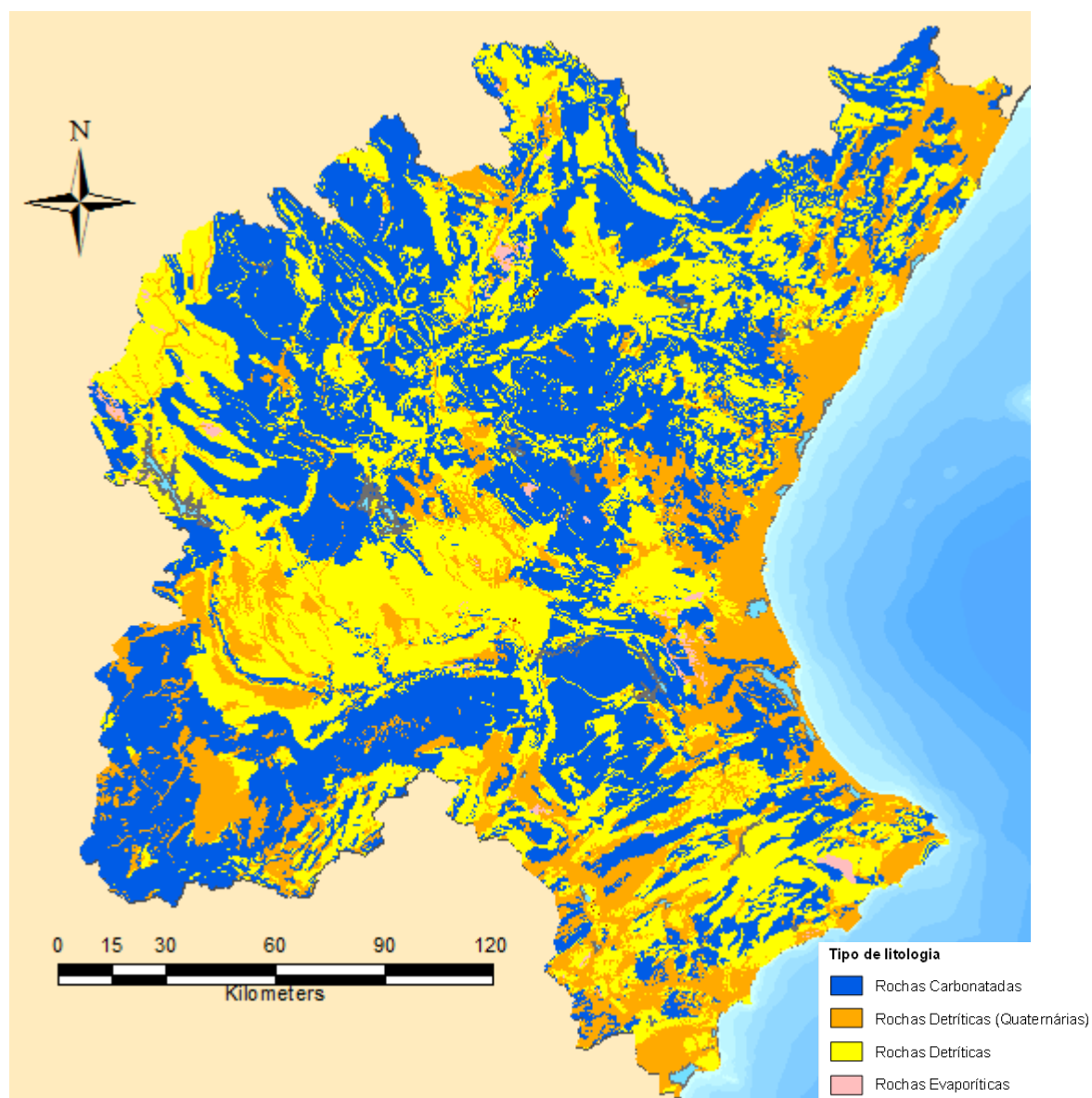
A planície costeira compreende a franja aplanada de solos aluviais. É limitada a Norte pelo Sistema Ibérico, a Sul pelo Sistema Bético, a Oeste pela meseta continental, e a Este pelo Mediterrâneo.



Quanto à meseta continental, esta é comumente chamada de La Mancha e localiza-se a Oeste dos sistemas montanhosos Ibérico e Bético. Compreende uma superfície relativamente aplanada, com altitudes a rondar os 700 metros.

Existem diversas estruturas geomorfológicas, tais como serras e vales interiores, que estão intimamente ligadas à orografia regional. Nas partes mais baixas, localizadas nas zonas junto à costa, existem condições para a formação de zonas húmidas, habitualmente alimentadas por águas subterrâneas, visíveis ao longo da costa.

A nível geológico, a litologia predominante no território da CHJ compreende rochas carbonatadas, maioritariamente ocupadas por calcarenitos e margas, em especial nas zonas montanhosas. Nalguns sectores podem coexistir outras litologias, essencialmente detrítica siliciosa, selenítica e argilosa. Todas as rochas são sedimentares e pertencem maioritariamente ao Mesozóico. Pontualmente, poderão ocorrer afloramentos paleozóicos e alguns materiais do Terciário, assim como depósitos aluviais associados aos cursos dos rios (Figura 2.9). Os materiais detríticos, uma vez chegados à costa mediterrânica, são arrastados pela corrente marítima onde passam a fazer parte da deriva litoral. A zona litoral tem morfologias distintas. A maior parte são praias aplanadas ou cordões dunares. Porém, existem parcelas constituídas por falésias com escarpas e zonas rochosas muito acidentadas.



**Figura 2.9 - Mapa litológico da região abrangida pela CHJ.**

A nível tectónico, existem algumas falhas importantes na região da CHJ. Destaca-se, a Norte, instalada no Sistema Ibérico, um sistema de falhas de orientação NNE – SSW, e a Sul, associado ao Sistema Bético, falhas com orientação WSW – ENE (Figura 2.10).



**Figura 2.10 - Falhas mais importantes na região da CHJ, a vermelho.**

## 2.5 Enquadramento hidrológico

Os principais rios da CHJ são o Cenia, Mijares, Palancia, Túria, Júcar, Serpis e Vinalopó (Figura 2.11; Quadro 2.2).

Destes, destacam-se o Júcar, com o comprimento total de 512 Km e escoamento médio anual de  $1.698 \text{ hm}^3$ , e o Túria, com o comprimento total de 280 Km e escoamento médio de  $441 \text{ hm}^3$ . Devido ao seu escoamento, estes são os mais importantes rios em toda a bacia.

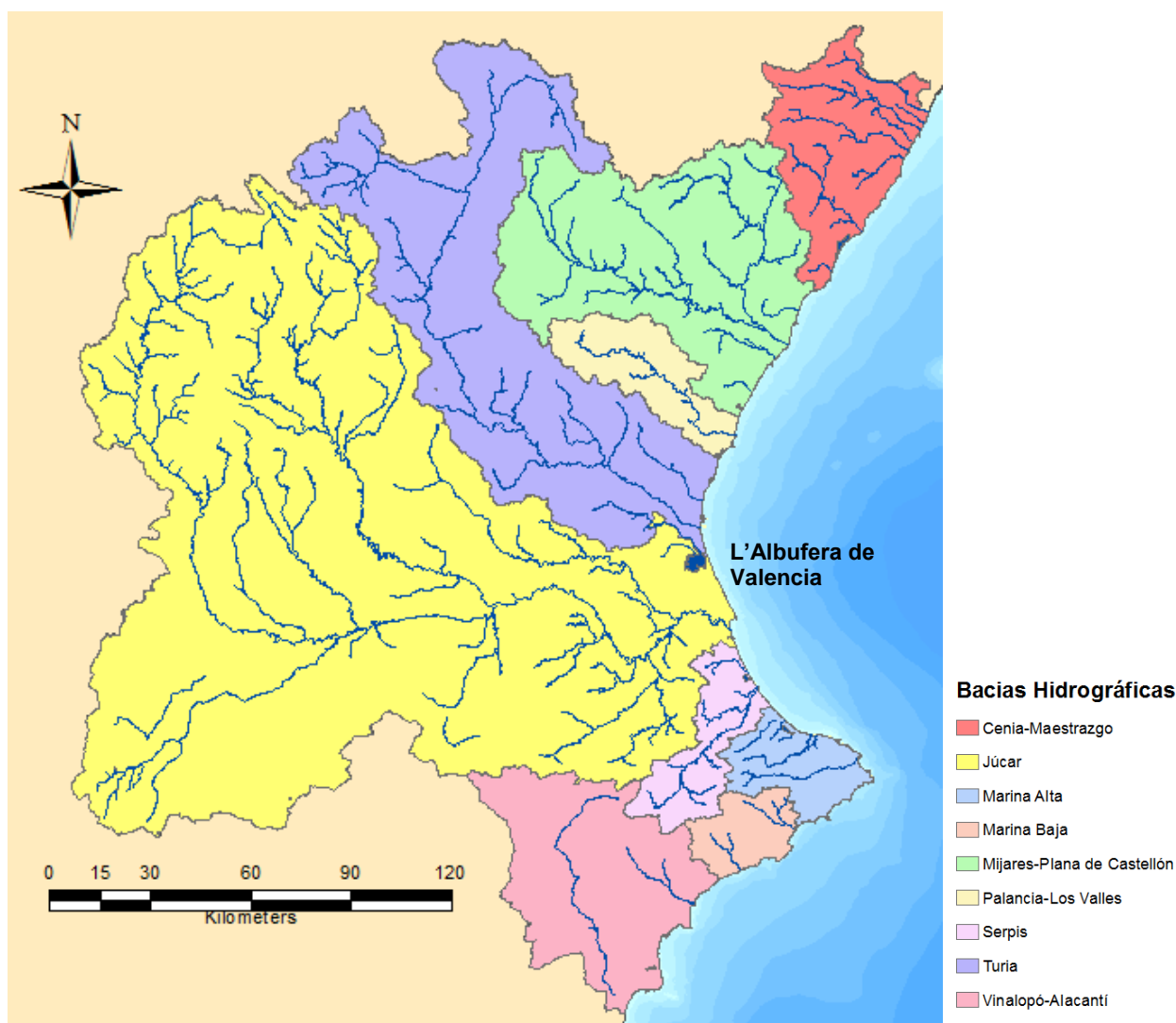


Figura 2.11 - Rios e Bacias hidrográficas da região da CHJ.

Quadro 2.2 - Principais Bacias hidrográficas da CHJ.

<b>Bacia hidrográfica</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>
<b>Cenia – Maestrazgo</b>	2033,27
<b>Júcar</b>	22435,67
<b>Marina Baja</b>	606,86
<b>Marina Alta</b>	838,18
<b>Mijares – Plana de Castellón</b>	4817,95
<b>Palancia – Los Valles</b>	1085,56
<b>Serpis</b>	984,73
<b>Túria</b>	7239,71
<b>Vinalopó - Alacantí</b>	2983,80

Como a gestão e aproveitamento dos recursos hídricos é fundamental para a disponibilidade hídrica da região, os cursos de água estão artificializados com barragens para armazenamento de água. A capacidade total de armazenamento das barragens é de aproximadamente 3.300 hm<sup>3</sup>.

De extrema importância na região são as zonas húmidas, intimamente ligadas aos recursos hídricos. As mais importantes são as localizadas junto à costa. Apesar de se localizarem junto ao mar, este não exerce alguma influência sobre elas. Os lagos são alimentados por águas subterrâneas e, em menor medida, por águas superficiais. De todas as zonas húmidas, destaca-se a Albufeira de Valência (Figura 2.11), declarada como Parque Natural. Os seus 21.120 ha albergam não só o lago mas também as zonas circundantes compostas por grandes áreas de arrozal e um cordão dunar que a protege do mar Mediterrâneo. Apesar da grande extensão do lago (2.443 ha de zona inundada), a sua profundidade não é muito elevada (0,88 m de profundidade média).

As zonas húmidas possuem um importante papel no que toca à manutenção ecológica. Devido à sua localização, a zona húmida da Albufeira de Valência desempenha uma função de nidificação e de descanso das aves migratórias, fazendo ponte entre a Europa e África.

## 2.6 Enquadramento hidrogeológico

A água subterrânea tem uma importância primordial em toda a CHJ, já que cerca de 73% dos recursos hídricos utilizados provêm do subsolo, perfazendo anualmente cerca de 2.268 hm<sup>3</sup>. Apesar de habitualmente o uso da água ser comum entre as várias fontes de proveniência (superficial e subterrânea), a sobreexploração de alguns aquíferos já se fez sentir (CHJ, 2007).

Para a presente dissertação e, à semelhança do que é utilizado na CHJ, a unidade de trabalho para a região em estudo está definida como Massa de Água Subterrânea (MAS). A delimitação de uma MAS é o resultado de diversos factores. Em primeiro lugar, todas as MAS são delimitadas partindo das Unidades Hidrogeológicas (UHG). As UHG compreendem o agrupamento de um ou mais aquíferos, com fim a uma eficaz e racional gestão da água.

Em 2005, a fim de se possuir uma unidade de trabalho comum e para estar de acordo com a Directiva Quadro da Água, foram delimitadas as MAS segundo critérios que se passam a citar:

- Adaptação de todos os limites das MAS aos limites do *mapa litostratigráfico e de permeabilidade de Espanha*, escala 1:200.000;
- Revisão, por existência de informação actualizada de limites definidos anteriormente de forma arbitrária, por limites com uma maior justificação hidrogeológica.

Em 2009, foram redefinidos os limites das MAS, obedecendo aos seguintes critérios:

- Redefinição das MAS tendo em conta a delimitação das UHG;
- Delimitação das MAS tendo em conta os limites impermeáveis destas;
- Em zonas com fraca concentração populacional e zonas remotas, optou-se por fazer uma separação segundo o fluxo subterrâneo;
- Demarcação segundo as actividades humanas existentes, a fim de circunscrever zonas de influência ou acções importantes sobre as águas subterrâneas;
- Em locais com fortes condicionantes quantitativas ou qualitativas, as MAS foram delimitadas com vista à criação de uma unidade independente que pudesse ser trabalhada, vocacionando medidas e acções específicas.

A Figura 2.12 mostra o mapa com a localização das MAS e suas fronteiras e, em anexo, é apresentada uma lista de todas as MAS com a sua denominação, código e área respectiva.



**Figura 2.12 - Localização das MAS, permeáveis e impermeáveis ou de interesse local, situadas na CHJ.**

O fluxo hídrico subterrâneo nas várias MAS segue orientação concordante com o escoamento superficial nas linhas de água, na sua generalidade, desde as zonas montanhosas localizadas mais a montante (a Norte e Sul da bacia) e com desagúe para o Mar Mediterrâneo a Este. Pontualmente, nas regiões com significativa exploração de água subterrânea, o fluxo poderá descrever um cone regional de rebaixamento, alterando por isso o sentido do escoamento subterrâneo. Este efeito torna-se visível pela comparação entre os mapas piezométricos de 1970-74 e de 2008 ( Figura 2.13 e Figura 2.14).

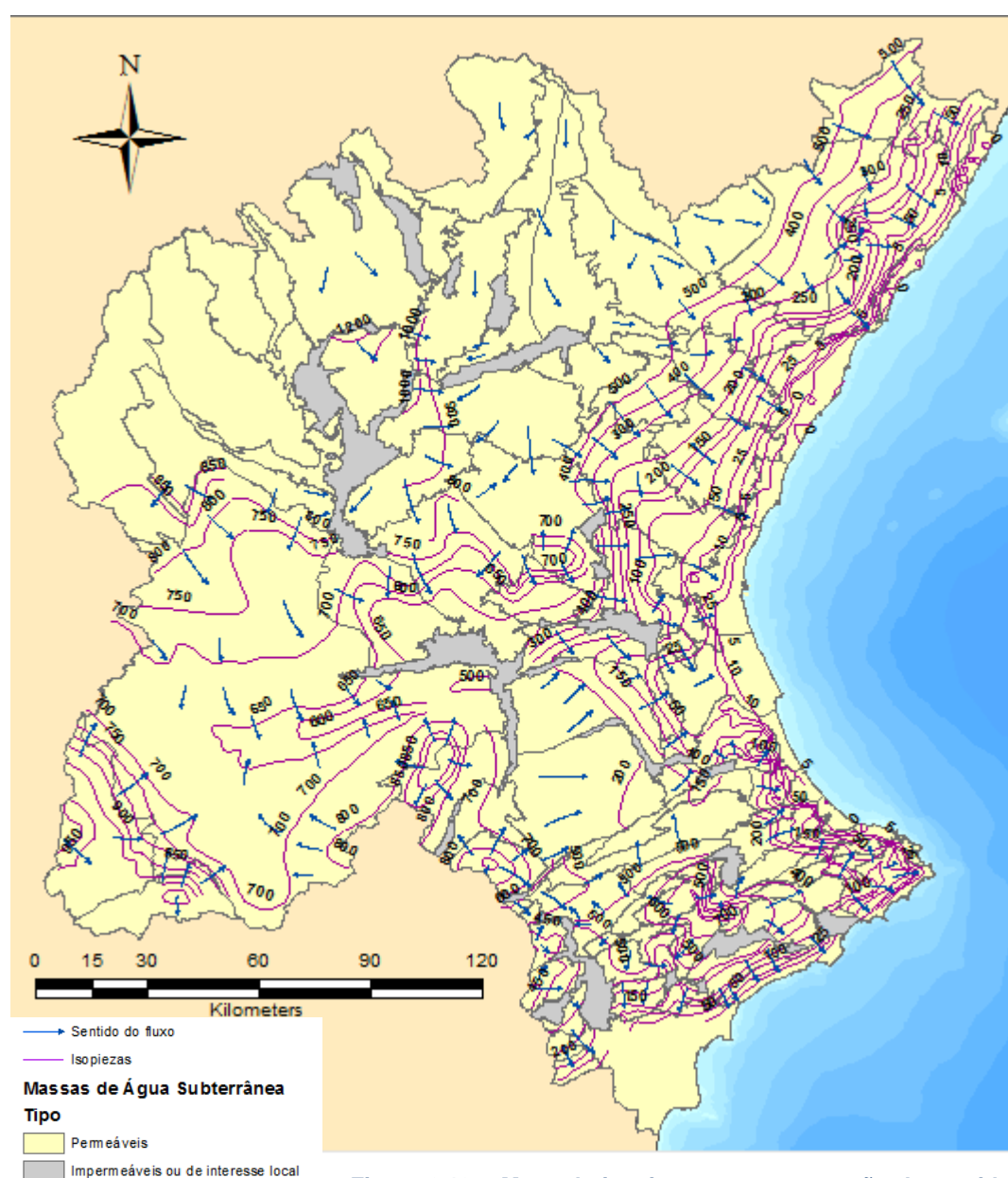


Figura 2.13 – Mapa de isopiezas – representação de sentido de fluxo hídrico subterrâneo nas MAS, em 1970-74.



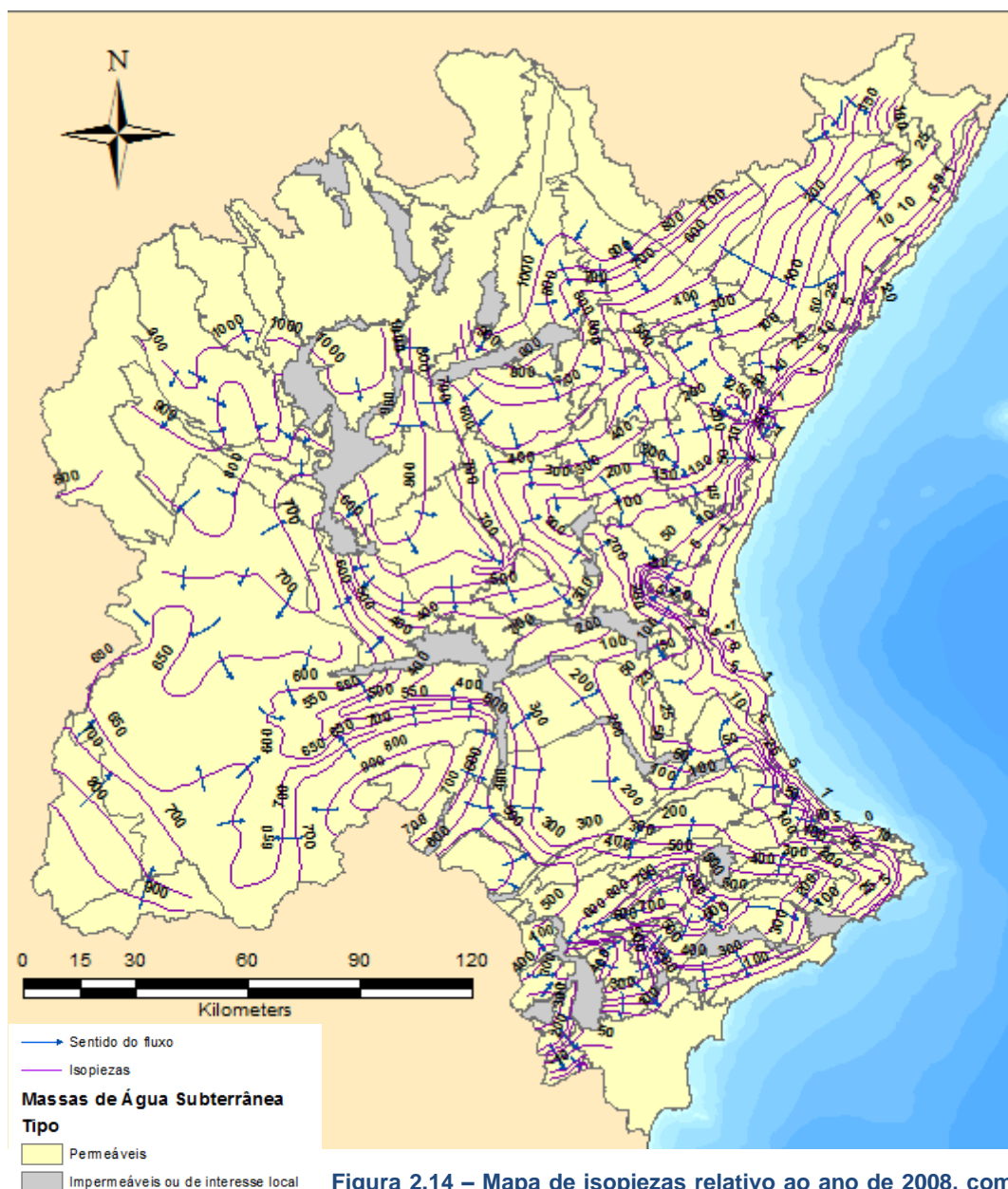


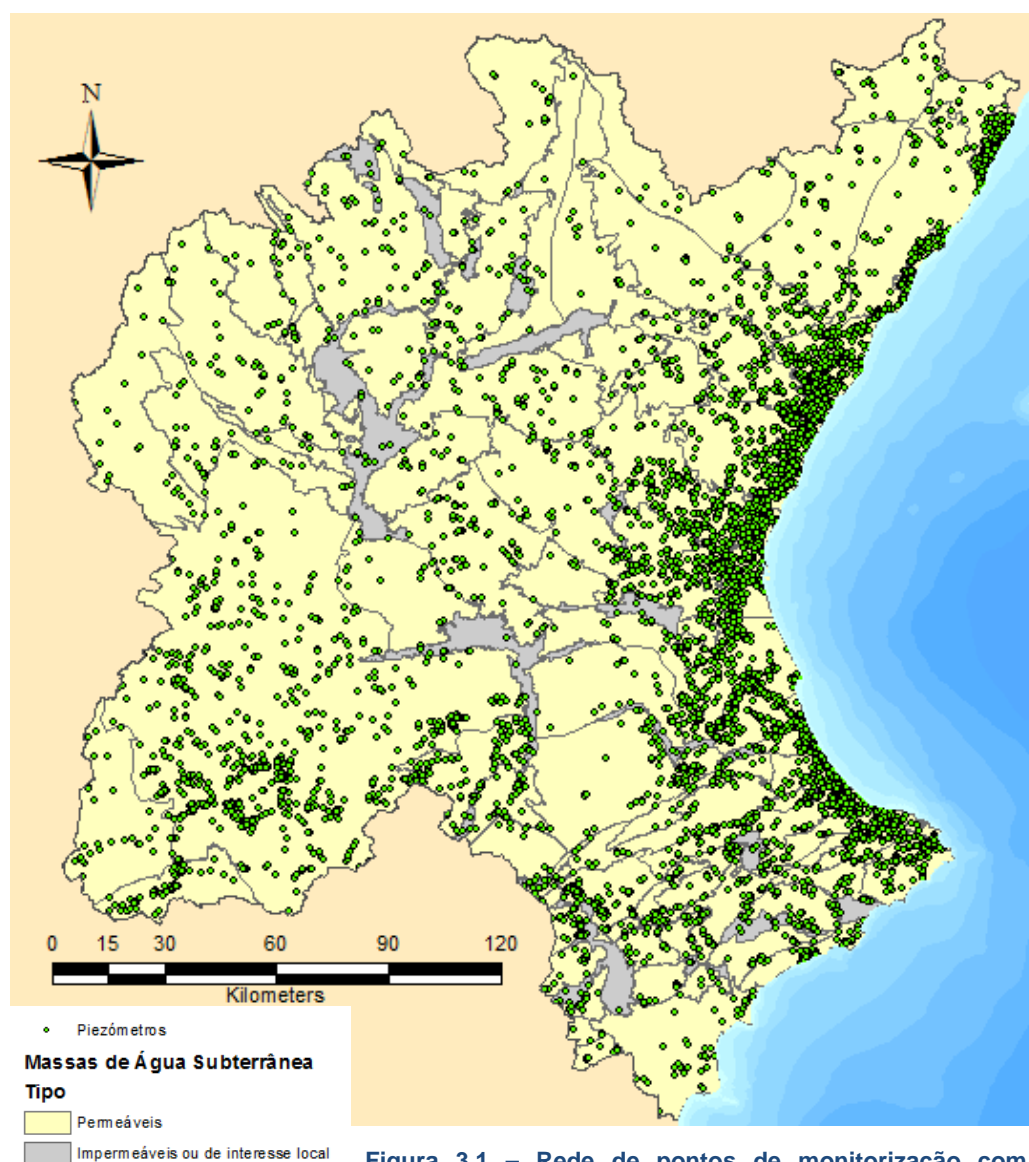
Figura 2.14 – Mapa de isopiezas relativo ao ano de 2008, com representação do sentido de fluxo hídrico subterrâneo nas MAS.



### 3. Metodologia

#### 3.1 Apresentação dos dados

Os dados utilizados resultaram de registos obtidos em diferentes redes de monitorização com análise de nitrato. As redes são compostas por furos particulares e piezómetros construídos apenas para efeitos de monitorização. Estas redes pertenciam a diferentes proprietários, todos com titularidade estatal. Com as reorganizações e fusões institucionais, os dados das redes passaram a pertencer à CHJ, entidade que gentilmente os cedeu para o presente trabalho. A determinação da concentração do ião nitrato na água subterrânea resultou de amostragem e análise laboratorial (não se tem conhecimento do método laboratorial utilizado nem dos laboratórios onde foram efectuadas as análises). Dos dados disponíveis, ficaram aptos para estudo 6381 pontos de monitorização inseridos em 113 massas de água subterrânea, perfazendo um total de 24276 registos (Figura 3.1).



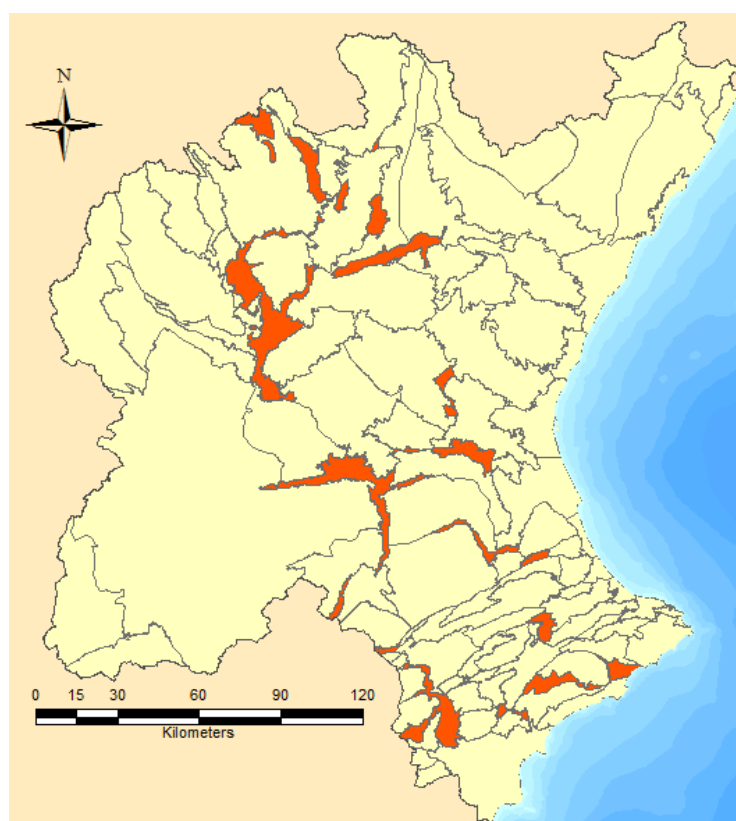
**Figura 3.1 – Rede de pontos de monitorização com registos de concentrações de nitratos nas MAS. da CHJ.**

Os registos da concentração de nitrato utilizados reportam-se à localização e à data da colheita. A série temporal considerada, tem início em 1969 e prolonga-se até 2012. Os pontos de monitorização onde foram realizadas as colheitas de água apresentam díspares períodos de actividade pois, de ponto para ponto, observam-se diferentes datas nas colheitas e nos períodos de activação ou desactivação. Por isso, não se dispõe de pontos que contenham uma série temporal completa de registos de concentrações de nitrato no período em estudo. Isto deveu-se às reorganizações territoriais das redes de medições exploradas por diferentes entidades.

### *3.2 Selecção e tratamento dos dados*

Por se tratar de uma grande quantidade de dados foram aplicados critérios de selecção para as séries a estudar. Assim, por não se enquadrar nos objectivos do presente trabalho o estudo detalhado dos dados disponíveis, os critérios de selecção tiveram como objectivo destacar e abordar as situações mais gravosas, que permitissem relacionar as concentrações de nitrato com acções sobre as massas de água.

Desta forma, foram excluídas as massas de água impermeáveis, constituídas por aquíferos não produtivos ou apenas com interesse local (Figura 3.2).

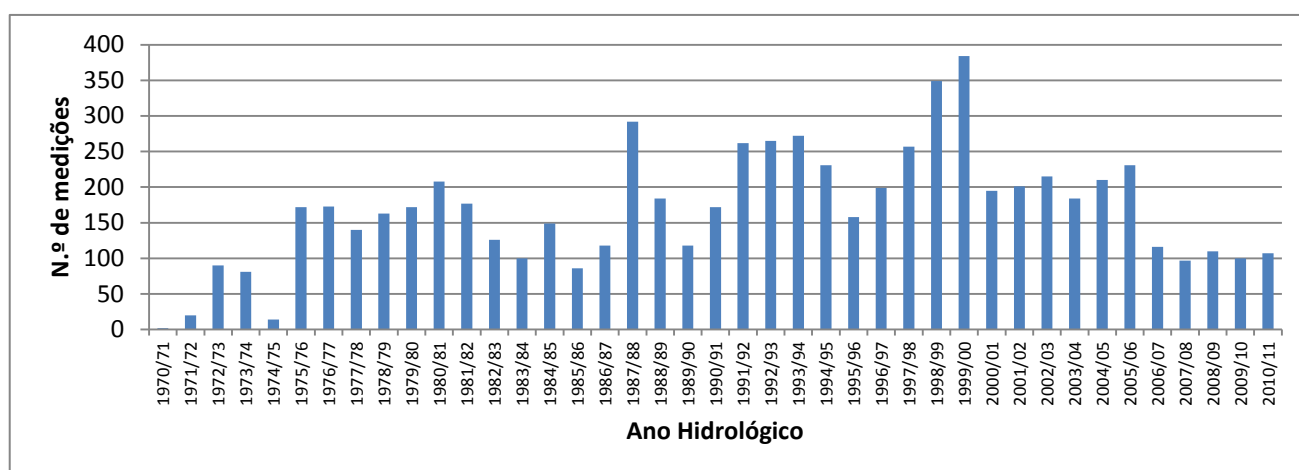


**Figura 3.2 - MAS excluídas do estudo por se relacionarem com aquíferos pouco produtivos ou só com interesse local.**

Tomando em consideração apenas as massas de água com litologias permeáveis, foram seleccionados os pontos de monitorização com maior representatividade, tendo sido excluídos os pontos que continham menos de cinco determinações.

Depois de excluídos os pontos de monitorização pouco representativos para cada massa de água, foram destacados, conforme disponibilidade, os cinco pontos de monitorização com maior número de registos. A fim de garantir a inclusão de dados mais recentes, à luz do mesmo critério, foram considerados também, para cada MAS, os pontos de monitorização com registos mais recentes. Este critério permitiu salvaguardar a análise de dados mais recentes, evitando assim que o critério se baseasse exclusivamente na quantidade de dados disponíveis. Aplicados os critérios, foram excluídos da análise 6106 pontos de monitorização.

Para um bom conhecimento da distribuição temporal dos dados fez-se o histograma do número de registos para cada ano hidrológico (Figura 3.3).



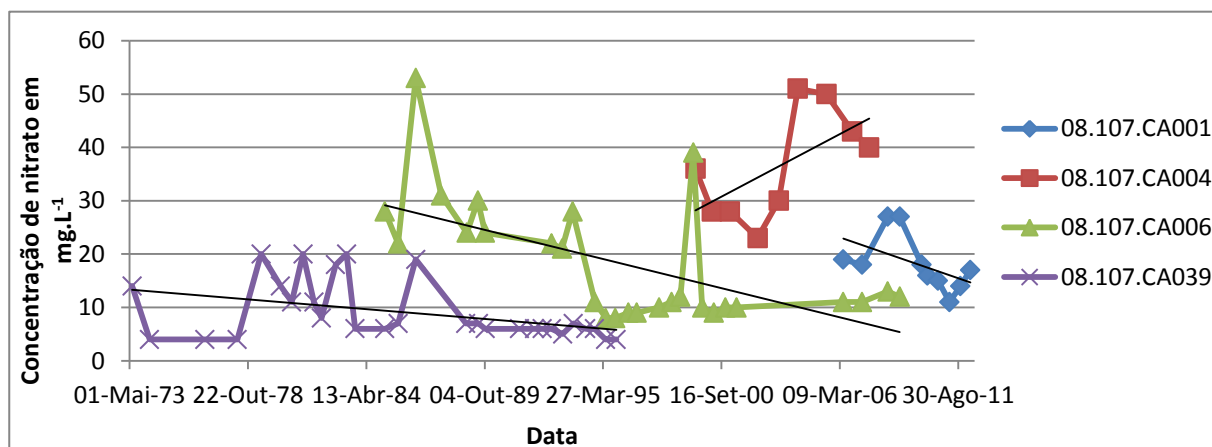
**Figura 3.3 – Histograma dos registos de concentração de nitratos por ano hidrológico.**

A irregularidade na distribuição dos registos deverá relacionar-se com as reformulações das redes de observação existentes. A partir de meados da década de 70 do séc. XX foi implementada uma rede robusta de monitorização que se estende até à actualidade, em muito motivada por preocupações ambientais.

### *3.3 Análise da concentração de nitratos*

Para início da análise dos dados, após selecção dos pontos de monitorização a considerar para cada massa de água, fizeram-se representações gráficas das concentrações do ião nitrato observadas desde 1970 a 2012. A observação dos gráficos permitiu perceber o modo como evoluiu a concentração do nitrato nas águas subterrâneas nos últimos 42 anos.

O primeiro passo consistiu na representação gráfica da concentração do ião nitrato e respectiva linha de tendência de evolução para cada MAS, tendo como base os registos observados nos pontos de monitorização.



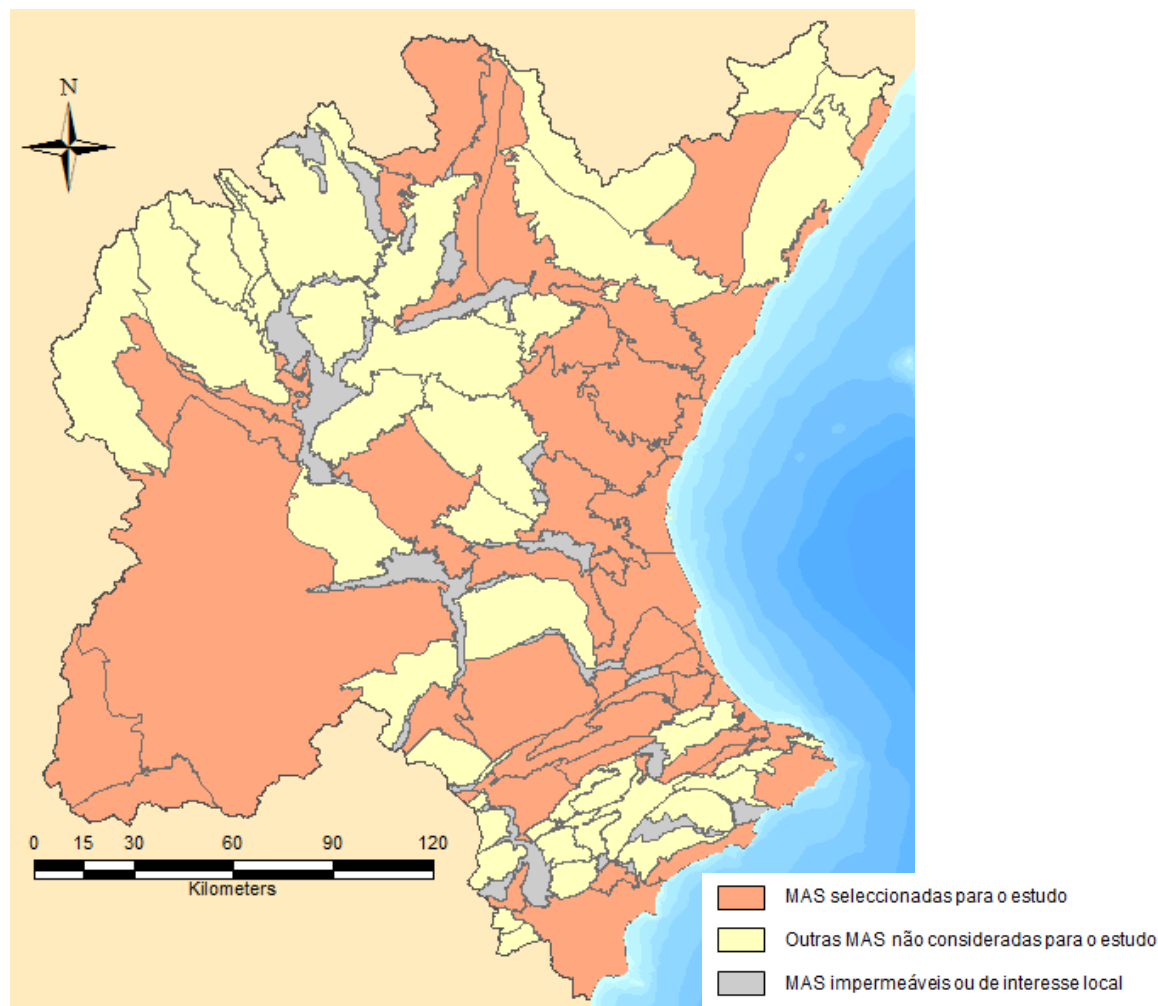
**Figura 3.4 – Curva da concentração de nitrato de alguns pontos da MAS código 080.107. Representação da linha de tendência de alguns pontos de monitorização tomados como exemplo.**

Esta representação permitiu visualizar de uma forma expedita e qualitativa a tendência crescente ou decrescente da concentração de nitrato em cada ponto de monitorização no intervalo de tempo de monitorização

Após representação gráfica dos pontos seleccionados, foi feito um estudo mais detalhado para cada massa de água subterrânea tendo em conta:

- A elevada variabilidade nas concentrações de nitrato ao longo do tempo, com picos bem pronunciados, num ou em vários pontos na massa de água;
- A tendência bem pronunciada de subida ou descida da concentração de nitratos nalgum ponto de monitorização da massa de água.

Aplicando estes critérios, foram seleccionadas as MAS representadas na Figura 3.5 para análise mais detalhada no que toca às correlações e à análise de tendências.



**Figura 3.5 - MAS seleccionadas para estudo mais detalhado.**

### 3.3.1 Eliminação de outliers

Detectaram-se alguns valores anómalos nos dados estudados, pelo que se procedeu à sua eliminação segundo o critério da amplitude interquartis.

A amplitude interquartis representa a amplitude do intervalo que compreende 50% das observações centrais. Assim, é uma medida robusta sem ser influenciada pelos valores extremos que se estão a determinar.

Para o presente estudo foram eliminados os outliers severos. São valores que cumprem as condições da Equação 3.1.

$$x_i < Q_1 - 3(Q_3 - Q_1) \text{ ou } x_i > Q_3 + 3(Q_3 - Q_1)$$

**Equação 3.1 - Expressão utilizada para determinação de outliers severos.**

Sendo que,  $x_i$  corresponde às observações em cada piezómetro,  $Q_1$  corresponde ao primeiro quartil,  $Q_3$  corresponde ao terceiro quartil e a diferença entre  $Q_3$  e  $Q_1$  diz respeito à amplitude interquartil.

Caso existisse algum registo que cumprisse uma das condições definidas na Equação 3.1, este era eliminado. Com este método, dos 6166 registos para as MAS seleccionadas foram eliminados 188 registos correspondentes a outliers.

Optou-se apenas por determinar e eliminar os outliers severos. Se tivessem sido considerados e eliminados os outliers moderados, teria surgido uma maior quantidade de valores anómalos a eliminar pois, como se tratam de fenómenos naturais onde usualmente acontecem variações inesperadas, seria imprudente a sua eliminação.

É possível observar o número de outliers eliminados para cada MAS, na Figura 3.6.

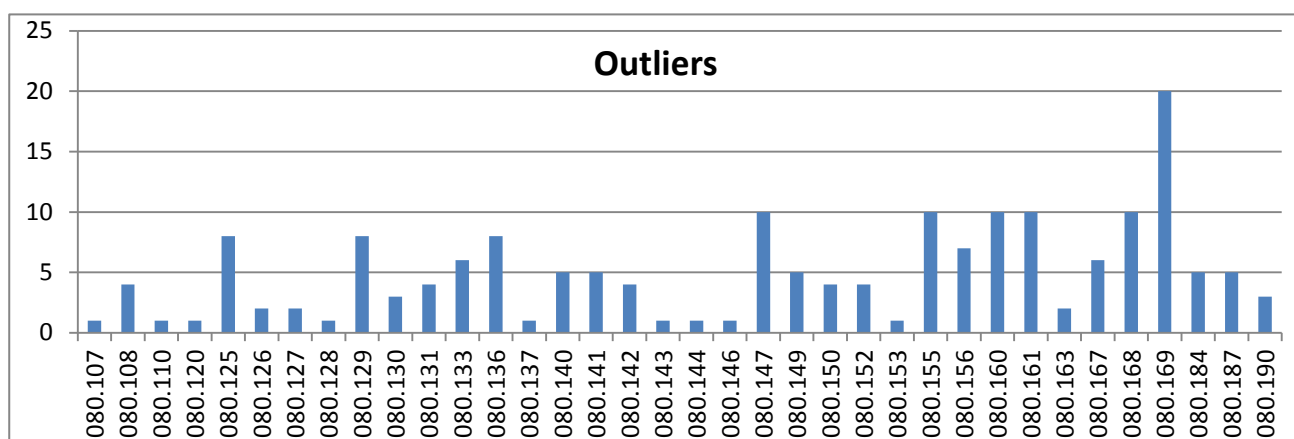


Figura 3.6 - Número de outliers eliminados por cada MAS.

### 3.3.2 Análise de tendências

Depois de seleccionadas as MAS a estudar e após eliminação dos outliers, foi feita uma análise de tendências. Para isso, foram calculados para os registos de cada ponto de monitorização dois parâmetros: o declive e o  $R^2$ . Foi possível determinar as tendências para 267 pontos de monitorização.

$$Correl(X, Y) = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}}$$

Equação 3.2- Fórmula utilizada para calcular o Coeficiente de Correlação.

Através do declive foi possível obter o sentido da tendência, consoante o sinal fosse positivo ou negativo. O valor zero para o declive, significa tendência nula. A tendência será tanto maior quanto mais se afastar do zero o valor do declive.

O valor de  $R^2$  corresponde ao quadrado do coeficiente de correlação entre as concentrações e a data da sua colheita. Com o  $R^2$  é possível determinar se a concentração de nitrato sofreu alterações bruscas ou suaves ao longo do tempo, para que seja possível determinar a robustez da tendência. Idealmente, uma tendência robusta é aquela que apresenta elevados valores, quer sejam positivos ou negativos, aliados a um  $R^2$  igualmente elevado.

Para a classificação das tendências das MAS foram definidas cinco grupos, conforme os resultados obtidos para o declive e o  $R^2$ . Assim, atendendo à quantidade de pontos de monitorização que, para cada MAS, apresentavam diferentes índices, foram estas classificadas com tendência de Subida Acentuada, Subida Suave, Inconclusiva, Descida Suave e Descida Acentuada. Incorporaram os grupos de Subida ou Descida acentuadas quando o  $R^2$  assume valores superiores a 0,5, transmitindo por isso uma boa robustez da tendência dos dados. O grupo de Subida ou Descida suaves incorporara os dados quando estes apresentam valores de  $R^2$  entre 0,5 e 0,25. No caso de  $R^2$  abaixo de 0,25, a tendência foi considerada inconclusiva. O sinal do declive é o que define se a tendência é crescente (sinal positivo) ou decrescente (sinal negativo).

### **3.3.3 Correlação entre variáveis climáticas e a concentração de nitrato nas águas subterrâneas**

Pela observação da concentração e tendência do nitrato nas MAS notou-se, nalguns pontos, uma certa harmonia nas concentrações observadas ao longo do tempo, o que leva a supor a existência de causa regional a afectar de igual modo a MAS.

Assim, são apontadas algumas causas susceptíveis de explicarem as variações observadas na concentração de nitrato, tais como:

- Ocorrências de anos secos e anos húmidos, afectando a concentração de nitrato em função das condições climáticas e do valor da precipitação anual;
- Alterações no uso do solo, no tipo de cultura ou no tipo de fertilizantes utilizados;
- Expansão das áreas agrícolas;
- Alterações nos consumos de água, aumentando a quantidade de água subterrânea captada.

Sendo impossível, no âmbito deste trabalho, uma abordagem sistemática de todos os aspectos supramencionados, optou-se por tratar somente os aspectos melhor caracterizados na amostragem. Em primeiro lugar, excluíram-se as alterações no uso do solo, tipo de cultura ou fertilizantes utilizados porque, como se trata de uma Bacia de grande extensão, não seria possível, em tempo útil, fazer esta abordagem, já que exige muita minúcia. Além do mais, os dados neste aspecto são poucos. Foram igualmente excluídas as expansões das áreas agrícolas. Apesar de ser uma região com uma forte componente agrícola e, apesar de estar confirmada a influência desta na contaminação por nitratos das MAS, admitiu-se que não existiram mudanças muito significativas em área cultivada que justificassem alterações qualitativas. Como se observa nos registos, em 1990, a área cultivada era de 20323,23 km<sup>2</sup>, em 2000 de 32363,71 km<sup>2</sup> e, em 2006, de 32592,81 km<sup>2</sup>. O mesmo se passa quanto à variação dos consumos de água. Da mesma maneira e por manutenção das áreas agrícolas cultivadas, os volumes de água subterrânea captados não deverão ter variado de maneira a repercutirem alguma influência nas concentrações do ião nitrato.

Por fim, os efeitos climáticos tal como se conhecem são característicos da região. São comuns as sucessões de anos secos e anos húmidos; por isso serão analisados qualitativamente e quantitativamente os seus efeitos sobre a concentração de nitrato nas MAS.

Foram considerados os valores da concentração observados nas massas de água e os registos de precipitação anual de 42 anos hidrológicos (o ano hidrológico começa a 1 de Outubro e termina a 30 de Setembro do ano seguinte). As séries de precipitação consideradas reportaram-se aos anos hidrológicos compreendidos entre 1970/71 e 2011/12.

Começou-se por fazer a relação entre o instante da determinação de nitrato e o ano hidrológico correspondente. Quando para o mesmo ano hidrológico existia mais do que um valor de concentração de nitrato considerou-se a média dos registos disponíveis.

Os anos secos e húmidos foram classificados por ordenação da precipitação ocorrida no ano hidrológico dentro de certos limites. Assim, as precipitações foram ordenadas, desde 1 até  $n$ , sendo o valor de precipitação  $x_1$  o maior valor registado e  $x_n$  o menor, até  $n = 42$  ou seja  $x_{42}$ .

Segundo Murteira *et al.* (2007), a ordem da observação correspondente ao quantil de ordem  $\alpha$  é dada por  $1 + (n - 1)\alpha$ , sendo  $n$  a dimensão da amostra.

Por exemplo, se o n.º de ordem for igual a 32, resulta de:

$$1 + (42 - 1)\alpha = 32$$

Desenvolvendo,  $\alpha = 0,756$  e como a série está ordenada dos valores maiores para os menores, significa que existe 75,6% de probabilidade de um valor ser maior que  $x_{32}$ .



Uma vez que se considerou a probabilidade do valor não ser excedido dentro da série dos dados, a probabilidade calculada foi a complementar a  $\alpha$ , ou seja, foi  $(1-\alpha)$ . Como exemplificação do método utilizado tome-se o caso explicitado no Quadro 3.1

**Quadro 3.1 – Ordenação da precipitação para a MAS 080.140 considerando a série temporal de 1970/71 a 2011/12.**

<i>Ano (1970 -2012)</i>	<i>Precipitação, em mm/ano</i>	<i>Nº de Ordem</i>	<i>Probabilidade de não exceder (<math>1-\alpha</math>)</i>
2	792	1	100,00%
18	780	2	97,50%
19	762	3	95,10%
20	754	4	92,60%
39	733	5	90,20%
32	724	6	87,80%
31	695	7	85,30%
21	629	8	82,90%
6	625	9	80,40%
38	584	10	78,00%
17	572	11	75,60%
37	561	12	73,10%
27	547	13	70,70%
4	546	14	68,20%
34	545	15	65,80%
7	544	16	63,40%
1	523	17	60,90%
26	518	18	58,50%
3	498	19	56,00%
10	492	20	53,60%
33	479	21	51,20%
12	472	22	48,70%
22	466	23	46,30%
40	456	24	43,90%
14	423	25	41,40%
8	421	26	39,00%
23	402	27	36,50%
11	397	28	34,10%
15	373	29	31,70%
5	369	30	29,20%
42	365	31	26,80%
29	365	32	24,30%
28	364	33	21,90%
36	359	34	19,50%
41	355	35	17,00%
24	344	36	14,60%
13	343	37	12,10%
35	338	38	9,70%
16	306	39	7,30%
9	305	40	4,80%
25	265	41	2,40%
30	242	42	0,00%

Após a classificação das precipitações procedeu-se à definição dos anos secos e húmidos (Quadro 3.2). Assim, para as MAS, foi considerado:

- Ano húmido, quando existir a probabilidade de não exceder o valor de precipitação acima de 73,10% (exclusive), ou seja, o valor de ordem  $x_{12}$ ;
- Ano seco, quando existir a probabilidade de exceder o valor de precipitação acima de 26,80% (inclusive), ou seja, valor de ordem  $x_{31}$ .

Este método robusto permitiu a classificação uniforme, quanto à precipitação, de todas as MAS. Porque foi aplicado a cada MAS, teve em conta as particularidades climáticas de cada

área. Por se tratar de uma bacia tão vasta pode dar-se o caso do mesmo ano hidrológico ser especialmente chuvoso em determinado local e particularmente seco noutro.

Assim, para cada MAS, quer se trate de ano seco ou ano húmido, é possível fazer a distribuição climática ao longo do tempo como se pode observar no Quadro 3.2.

**Quadro 3.2 – Distribuição de anos secos e anos húmidos, para algumas MAS (quadro integral disponível em anexo).**

Massas a estudar																			
080.101	Anos Húmidos	0	0	0	0	0	0	0	1987/88	1988/89	0	1990/91	0	0	0	0	0	0	1996/97
	Anos Secos	0	1981/82	0	0	1984/85	0	1986/87	0	0	1989/90	0	1991/92	1992/93	1993/94	1994/95	0	0	
Massas a estudar																			
080.102	Anos Húmidos	0	0	0	0	0	0	0	1987/88	1988/89	0	1990/91	0	0	0	0	0	0	1996/97
	Anos Secos	0	1981/82	1982/83	0	1984/85	0	0	0	0	0	1991/92	1992/93	1993/94	1994/95	0	0	0	
Massas a estudar																			
080.103	Anos Húmidos	0	0	0	0	0	0	0	1987/88	1988/89	0	0	0	0	0	0	0	0	1996/97
	Anos Secos	1980/81	1981/82	0	1983/84	1984/85	0	0	0	0	0	0	1992/93	1993/94	1994/95	0	0	0	
Massas a estudar																			
080.107	Anos Húmidos	0	0	0	0	0	0	0	1987/88	1988/89	1989/90	1990/91	0	0	0	0	0	1995/96	0
	Anos Secos	0	0	1982/83	0	1984/85	1985/86	0	0	0	0	0	0	0	1993/94	1994/95	0	0	0
Massas a estudar																			
080.108	Anos Húmidos	0	0	0	0	0	0	0	1987/88	1988/89	1989/90	1990/91	0	0	0	0	0	0	0
	Anos Secos	0	0	1982/83	0	1984/85	1985/86	0	0	0	0	0	0	1992/93	1993/94	0	0	0	0
Massas a estudar																			
080.110	Anos Húmidos	0	1981/82	0	0	0	0	0	1987/88	1988/89	0	1990/91	0	0	0	0	0	0	0
	Anos Secos	0	0	0	0	1984/85	1985/86	0	0	0	0	0	0	1992/93	1993/94	1994/95	0	0	0
Massas a estudar																			
080.113	Anos Húmidos	0	0	0	0	0	0	0	1987/88	1988/89	0	0	1991/92	0	0	0	0	0	1996/97
	Anos Secos	0	1981/82	0	1983/84	1984/85	0	1986/87	0	0	0	0	0	1992/93	1993/94	1994/95	0	0	0
Massas a estudar																			
080.120	Anos Húmidos	0	0	0	0	0	0	0	1987/88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1996/97
	Anos Secos	1980/81	1981/82	1982/83	0	0	0	0	0	0	0	0	1991/92	1992/93	1993/94	1994/95	0	0	0
Massas a estudar																			
080.121	Anos Húmidos	0	0	0	0	0	0	0	1987/88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1996/97
	Anos Secos	1980/81	1981/82	1982/83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1992/93	1993/94	1994/95	0	0	0
Massas a estudar																			
080.124	Anos Húmidos	0	0	0	0	0	0	0	1987/88	1988/89	1989/90	0	0	0	0	0	0	0	1996/97
	Anos Secos	1980/81	1981/82	1982/83	0	1984/85	0	0	0	0	0	0	0	0	1993/94	1994/95	0	0	0

Constata-se a alternância entre períodos secos (a laranja) e períodos húmidos (a azul). Quando ambas as células assumem o valor “0” é considerado ano de precipitação normal.

Assim, procedeu-se à análise da correlação linear entre a variável clima e a concentração de nitrato nas MAS, usando a Equação 3.2 para determinar o coeficiente de correlação com  $X$  e  $Y$  a dizer respeito à precipitação e à concentração de nitrato,  $x$  e  $y$  os registos observados, e  $\bar{x}$  e  $\bar{y}$  os valores médios de cada amostra.

O coeficiente de correlação pode tomar valores entre -1 e 1. O sinal do coeficiente determina o sentido da dependência das variáveis. Caso se trate de um sinal positivo, indica a existência de uma correlação directa, ou seja, a concentração de nitrato aumenta com a precipitação. Existe correlação inversa quando o sinal é negativo, ou seja o aumento da precipitação é acompanhado de diminuição na concentração de nitrato. Os valores unitários (-1 e 1) dizem respeito a uma correlação perfeita, existindo por isso uma dependência linear absoluta entre as variáveis. Por outro lado, o valor nulo diz respeito à ausência total de dependência entre as variáveis. Assim, os valores intermédios entre 0 e o valor unitário (-1 ou 1) indicam que a correlação é tanto maior quanto mais próximos estes estiverem da unidade.

Foram determinados vários índices de correlação para as MAS. Em primeiro lugar determinou-se a correlação entre a concentração de nitrato e a precipitação desse ano. Porém, devido ao desfasamento entre a ocorrência da precipitação e a percolação da água com consequente lixiviação do nitrato, ensaiaram-se correlações entre a concentração observada e a precipitação ocorrida nos dois anos antecedentes.

Tomou-se 1 ou 2 anos de desfasamento entre os fenómenos tendo em conta a diversidade de rochas existentes na área de estudo, essencialmente, rochas detríticas e carbonatadas com comportamentos diferentes face à velocidade de percolação da água.

Segundo Lencastre e Franco (2006), quando a chuva atinge a superfície do solo, parte desta, ou toda, penetra no solo, quer por força da gravidade dirigida para baixo tanto mais facilmente quanto maiores forem os diâmetros dos poros, quer por efeito de capilaridade que se faz sentir com maior intensidade quanto menores forem esses diâmetros.

Com este pressuposto, a velocidade de percolação da água de precipitação e, consequentemente, o tempo que esta demora a alcançar a MAS depende, essencialmente, das características do meio, ou seja, da porosidade. Assim, nas rochas detríticas onde a percolação da água se processa pelos poros existe maior influência da capilaridade.

Os aquíferos carbonatados mais importantes constituídos por rochas carbonatadas são aqueles em que ocorre porosidade secundária por dissolução da rocha, que no seu desenvolvimento final dá origem a regiões cársticas, com a presença característica de sumidouros, cavernas, grandes fontes e importante escoamento sub-superficial. (Lencastre e Franco, (2006)).

Assim, nas rochas carbonatadas, a velocidade de percolação da água é superior à que acontece nos meios detríticos. Nestes, o tempo que medeia até a água atingir a zona saturada é normalmente superior.

Para avaliação da correlação nas diferentes MAS, a determinação do tipo de rocha foi essencial. Inicialmente tomaram-se em consideração, com a ajuda do “Informe Sobre la Caracterización Básica de las Masas de Agua Subterránea de la Confederación Hidrográfica del Júcar – Condeferación Hidrográfica del Júcar e Instituto Geológico y Minero de España, Abril de 2011”, três tipos rochosos para as MAS. Foram classificadas em MAS de natureza carbonatada, MAS de natureza detrítica e MAS de natureza mista (quando eram constituídas por rochas carbonatadas e rochas detríticas).

Não obstante a classificação anterior, esta foi reformulada para que fossem focadas as condições de fluxo opostas (MAS de natureza detrítica Vs. MAS de natureza carbonatada), a

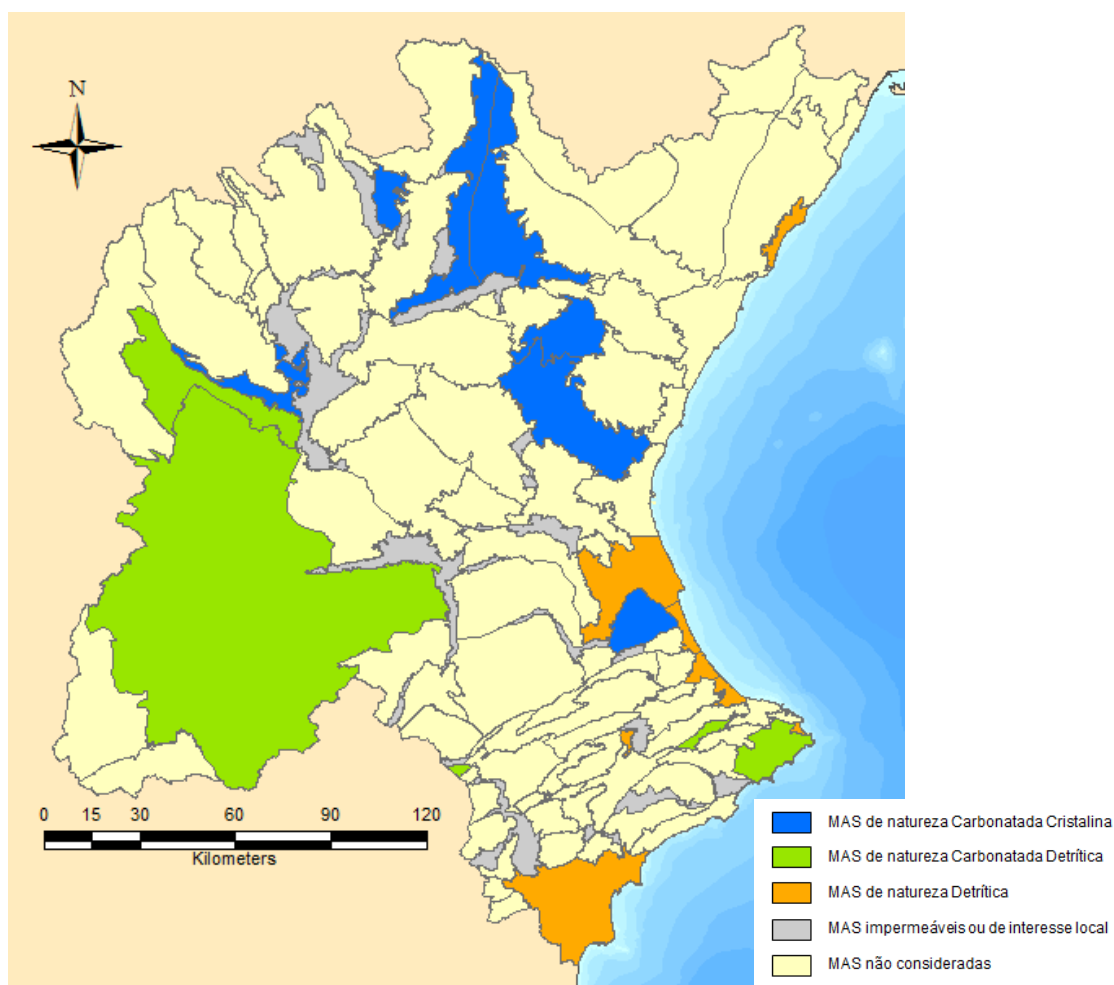
fim de tentar detectar alguma situação extrema. Deste modo, foram excluídas do estudo as MAS de natureza mista.

Uma vez que as rochas carbonatadas podem exibir diferentes fácies, considerou-se importante separá-las em duas classes: a das rochas carbonatadas de natureza cristalina (essencialmente do período Jurássico, mais susceptíveis de desenvolverem estruturas de dissolução, ou karst), e das rochas carbonatadas detríticas do período Cretácico.

Assim, foram considerados três tipos de MAS: MAS de natureza carbonatada cristalina, MAS de natureza carbonatada detrítica e MAS de natureza detrítica (Quadro 3.3 e Figura 3.7).

**Quadro 3.3 – Organização das MAS, por grupos, de acordo com o tipo de rocha dominante.**

<b>Rochas carbonatadas cristalinas</b>	<b>Rochas carbonatadas detríticas</b>	<b>Rochas detríticas</b>
080.102	080.120	080.110
080.103	080.129	080.142
080.113	080.158	080.151
080.121	080.168	080.152
080.125	080.179	080.163
080.131		080.169
080.149		080.180
		080.190



**Figura 3.7 - Classificação das MAS de acordo com o tipo de rocha dominante.**

Para otimizar a correlação entre a concentração de nitrato e o clima, estendeu-se o procedimento à correlação com o valor da recarga anual determinada pelo modelo de simulação PATRICAL, desenvolvido por Pérez-Martín (2005), gentilmente cedido pela CHJ. O mesmo modelo é utilizado na simulação e planeamento dos recursos hídricos na CHJ.

Apesar de tudo, o valor da recarga, por considerar outros parâmetros no cálculo, consegue, substancialmente, ser mais preciso na quantificação da água que se infiltra e que chega à zona saturada. Por exemplo, num ano chuvoso, o valor anual não traduz a forma como ocorreu a precipitação, se foi concentrada em algum período de tempo ou se foi distribuída ao longo do ano. Contrariamente ao que se passa com a precipitação, o modelo PATRICAL calcula a recarga que ocorre em cada mês, sendo a recarga anual a soma das recargas mensais. O modelo PATRICAL calcula a recarga por aplicação da Equação 3.3.

$$\text{Recarga} = \text{Precipitação} - \text{Escoamento Superficial} - \text{Evapotranspiração}$$

**Equação 3.3 - Fórmula de cálculo da recarga pelo modelo PATRICAL.**

### 3.3.4 Análise geoestatística

A análise geoestatística baseou-se nas localizações dos pontos de monitorização e na concentração em nitrato registada no período de observação para os quais se fizeram os respectivos variogramas. O tratamento dos dados foi efectuado tendo como auxílio do software geoMS (Alexandre & Almeida, 1998; Nunes & Almeida, 2010).

Um variograma é uma representação gráfica calculada através da diferença de valores entre pares de amostras, de todas as amostras, por intervalos de distância. O cálculo do variograma experimental é dado pela Equação 3.4. (Soares, 2000)

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

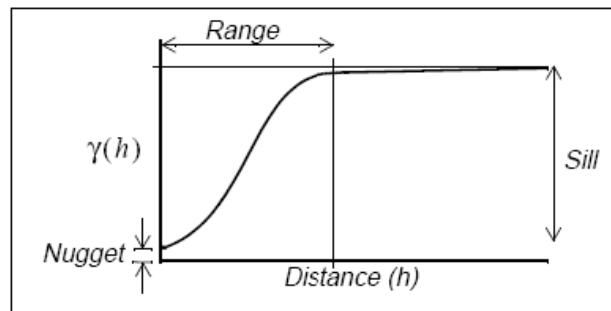
**Equação 3.4 – Fórmula usada no cálculo do variograma experimental.**

Onde  $N(h)$  representa o número de pares de pontos separados por  $h$ , correspondente ao passo, segundo a direcção do vector  $h$ .

Habitualmente são calculados variogramas para diferentes direcções no plano. Do ponto de vista geoestatístico, os pontos de amostragem estão aleatoriamente dispersos no espaço. Por isso, optou-se pela projecção dos variogramas omnidireccionais.

Após a projecção dos pontos experimentais no variograma, a estes é ajustada a função teórica que melhor se ajusta aos dados experimentais, para que seja possível interpolar dados onde eles não existem.

No variograma teórico há várias componentes a ter em conta: a Amplitude, que significa a distância a partir da qual as amostras deixam de ter correlação entre si; o Patamar, que traduz o limite superior para o qual tendem os valores do variograma à medida que se aumenta a distância entre pares de amostras (igual à variância dos dados); o Efeito de Pepita, que diz respeito à ordenada na origem quando se representam os valores do variograma num gráfico de distância.



**Figura 3.8 - Componentes de um variograma, Fonte:**  
<http://www.petrobyte.com/quicksurf/manual/378.gif>

O tratamento geoestatístico consiste na estimação dos valores de concentração de nitrato, onde não existam dados da amostragem, por forma a ser obtida uma superfície de valores. A estimação tem por base a localização e o valor da variável a partir dos pontos amostrados.

O tipo de estimação usada foi a Krigagem. A Krigagem é um método de estimação que avalia os valores da variável em redor do ponto a estimar, com base na sua distância e direcção. Para que seja possível a estimação é tido por base o variograma teórico anteriormente ajustado aos dados experimentais.

Na tentativa de melhorar o tipo de representação gráfica, foi abordada a região através da simulação, para que fosse contrariado o efeito de agrupamento de dados que condiciona a representação gráfica na estimação.

A simulação é uma maneira de explorar e representar a variabilidade dos dados, sendo que existem várias possibilidades. A simulação toma um lugar importante na análise das incertezas para aplicação de métodos em estudos ulteriores. Assim, a simulação não pretende calcular superfícies mais prováveis ou médias da distribuição da variável aleatória, tal como acontece com a estimação, mas formar imagens equiprováveis da distribuição da variável aleatória (Soares, 2000; Almeida, 2010; Quental et al, 2012).

Os dados simulados e os dados estimados respeitam os valores dos pontos amostrados. Nas proximidades dos pontos amostrados, geograficamente, a simulação tende a representar os valores próximos do ponto, criando uma área de influência. A área de influência dependerá da amplitude do variograma, não só no espaço mas também no tempo, igualmente considerada à semelhança da estimação na direcção Z. (Almeida et al, 2004; Almeida & Lopes, 2005). Nas localizações onde não existam dados, é inferido um resultado que pode em maior ou menor grau, ou não, representar a realidade.

Na simulação, é considerada toda a série histórica, sendo de livre arbítrio a escolha dos dados que melhor se adaptem à simulação em causa. Neste caso particular, quanto maior for a quantidade de anos com dados melhor será a simulação.

O método de simulação utilizado foi o da Simulação Sequencial Gaussiana. Este método implica a transformação dos dados amostrados em dados gaussianos, onde todo o cálculo se desenrola em ambiente gaussiano. No final da simulação, os resultados são novamente transformados para a sua distribuição original.

Como a simulação cria representações equiprováveis da realidade nos pontos sem amostragem, sabe-se que à partida a realidade corresponderá a um dos cenários simulados. Porém, como não é possível saber qual dos cenários é o real, e aproveitando o facto do efeito de proximidade quanto aos pontos amostrados, a alternativa passa por simular uma grande quantidade de cenários e efectuar a sua média, sendo que a representação final será a média dos diferentes cenários, para que seja possível uma representação aproximada do caso de estudo.

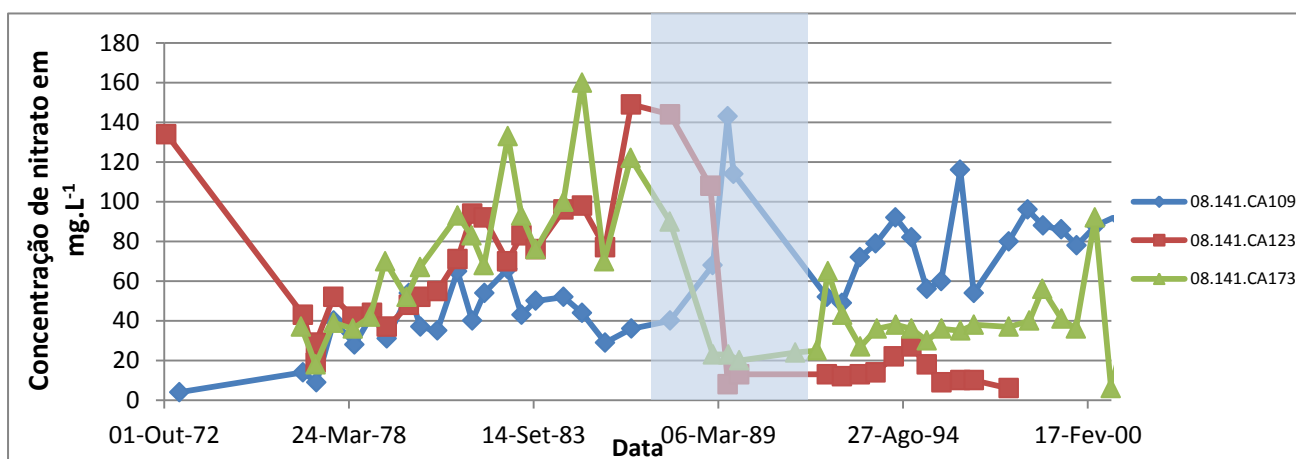


## 4. Caracterização da contaminação por nitratos

### 4.1 Análise qualitativa

A fim de se obter uma abordagem mais geral foi feita uma observação qualitativa da distribuição da concentração de nitrato nas massas de água. A representação gráfica da distribuição da precipitação por MAS ao longo do tempo e a concentração observada de nitrato nos piezómetros mostraram existir uma possível correlação entre ambos, principalmente em momentos climáticos extremos. Como exemplo na Figura 4.1, são notórias as variações bruscas no conteúdo de nitratos em todos os pontos de monitorização na MAS e a respectiva correspondência à ocorrência de período particularmente húmido.

Estas evidências corroboram a favor da influência climática sobre a concentração de nitrato nas MAS. Este efeito afecta simultaneamente diversos pontos na Bacia e, por isso, deve tratar-se de efeito comum e com expressão global à escala da área de estudo.



**Figura 4.1 - Concentração do ião nitrato em alguns piezómetros na MAS, código 080.141, desde Outubro de 1972 a Fevereiro de 2000. A banda a azul representa um período de anos particularmente húmidos.**

### 4.2 Análise quantitativa

#### 4.2.1 Avaliação de tendências

Depois de aplicados os métodos para determinação e estudo das tendências na concentração de nitrato nas MAS obtiveram-se os resultados do Quadro 4.1 - Tendências dos piezómetros para cada MAS seleccionada para estudo. Quadro 4.1 e no Quadro 4.2.

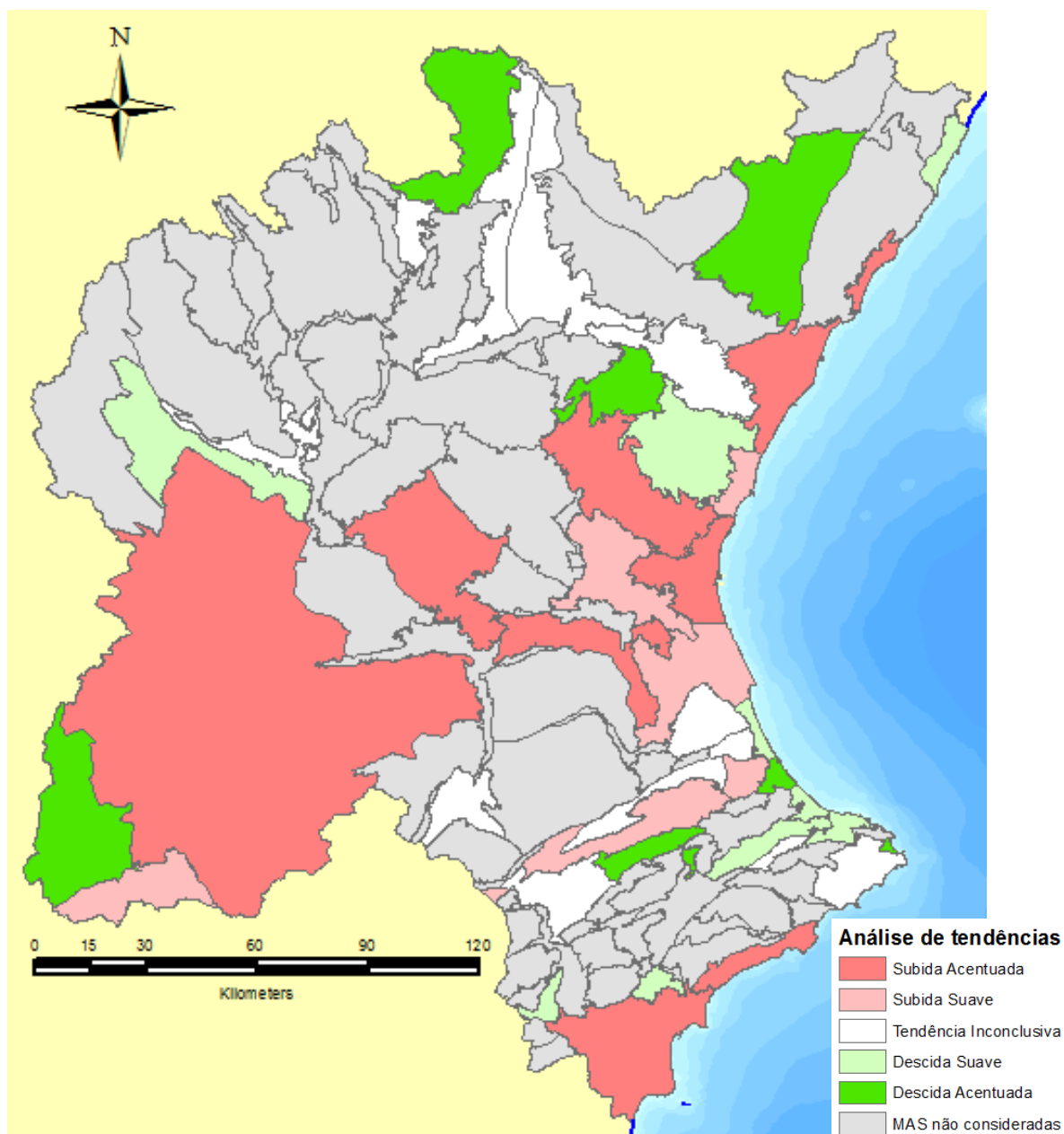
**Quadro 4.1 - Tendências dos piezómetros para cada MAS seleccionada para estudo.**

MAS	Denominação da MAS	Superfície da MAS, em km <sup>2</sup>	Nº de pontos de monitorização	Nº de pontos de monitorização com tendência ascendente	Nº de pontos de monitorização com tendência descendente
080.101	Hoya de Alfambra	762,39	3	0	2
080.102	Javalambre Occidental	594,29	1	0	0
080.103	Javalambre Oriental	801,89	5	1	0
080.107	Plana de Vinaroz	105,66	7	3	4
080.108	Maestrazgo Occidental	1127,74	5	3	2
080.110	Plana de Oropesa - Torreblanca	89,73	6	5	1
080.113	Arquillo	152,23	1	0	1
080.120	Cretácico de Cuenca Sur	690,64	2	0	2
080.121	Jurásico de Cardenete	248,22	2	1	1
080.125	Jérica	336,63	6	1	5
080.126	Onda - Espadán	523,48	2	2	0
080.127	Plana de Castellón	495,03	9	6	2
080.128	Plana de Sagunto	128,81	9	5	2
080.129	Mancha Oriental	7145,72	7	2	1
080.130	Medio Palancia	668,48	8	2	3
080.131	Liria - Casinos	861,14	10	3	0
080.133	Requena - Utiel	987,91	6	2	3
080.136	Lezuza - El Jardín	859,09	3	1	2
080.137	Arco de Alcaraz	400,39	2	2	0
080.140	Buñol - Cheste	542,77	9	4	0
080.141	Plana de Valencia Norte	386,85	9	5	3
080.142	Plana de Valencia Sur	566,29	8	3	2
080.143	La Contienda	64,84	3	1	0
080.144	Sierra del Ave	414,87	4	1	0
080.146	Almansa	243,11	3	0	0
080.147	Caroch Sur	1008,07	3	1	1
080.148	Hoya de Játiva	81,24	4	1	1
080.149	Sierra de las Agujas	251,42	9	1	1
080.150	Bárig	70,43	4	1	2
080.151	Plana de Jaraco	59,57	4	1	3
080.152	Plana de Gandía	56,68	6	3	3
080.153	Marchuquera - Falconera	108,57	4	0	1
080.155	Valle de Albaida	454,57	4	2	0
080.156	Sierra Grossa	205,79	3	0	1
080.158	Cuchillo - Moratilla	17,62	2	2	0
080.160	Villena - Benejama	330,20	3	0	1
080.161	Volcadores - Albaida	150,56	4	0	2
080.163	Oliva - Pego	54,64	7	2	2
080.164	Ondara - Denia	82,59	5	1	3
080.167	Alfaro - Segaria	175,25	4	0	2
080.168	Mediodía	51,68	4	2	0
080.169	Muro de Alcoy	23,25	5	0	3
080.179	Depresión de Benisa	270,45	4	1	1
080.180	Jávea	10,18	3	1	2
080.184	San Juan - Benidorm	179,01	5	3	1
080.185	Agost - Monnegre	73,30	3	0	2
080.187	Sierra del Reclot	72,46	6	1	4
080.190	Bajo Vinalopó	802,66	4	3	1

**Quadro 4.2 – Grupos de MAS de acordo com o tipo de tendência observada para a concentração de nitrato no período amostrado.**

Subida Acentuada	Subida Suave	Inconclusivo	Descida Suave	Descida Acentuada
080.110	080.128	080.102	080.107	080.101
080.127	080.137	080.103	080.120	080.108
080.129	080.140	080.113	080.130	080.125
080.131	080.142	080.121	080.151	080.136
080.133	080.153	080.126	080.163	080.152
080.141	080.155	080.146	080.164	080.161
080.143	080.158	080.149	080.167	080.169
080.144		080.150	080.185	080.180
080.184		080.156	080.187	
080.190		080.160		
		080.168		
		080.179		

A nível ilustrativo, a Figura 4.2 mostra a distribuição de tendências na concentração de nitrato na área de estudo.



**Figura 4.2 - Distribuição de tendências na concentração de nitrato nas MAS na área de estudo.**

A distribuição de tendências na concentração do nitrato está de acordo com o tipo de ocupação do solo, em especial nos casos de subida. É de notar que nas zonas com uma forte componente agrícola se verifica a tendência de subida, em especial na planície costeira e na meseta continental.

## 4.2.2 Correlações com variáveis climáticas

As correlações encontradas entre a concentração de nitrato, a precipitação e recarga constam no Quadro 4.3.

Na primeira série de correlações, os valores encontrados para os coeficientes de correlação entre as precipitações e as concentrações de nitrato para as rochas carbonatadas cristalinas não excedem 0,50. Porém, em algumas situações, quando a correlação é feita com a recarga, esta mostra resultados ligeiramente melhores. Quanto aos desfasamentos, de 1 e 2 anos na precipitação e na recarga, os resultados não se alteram substancialmente. De todas as maneiras, para as rochas carbonatadas cristalinas e, tendo em conta o sinal da correlação, existem mais correlações negativas do que positivas. Isto é indicativo do efeito da litologia no transporte do nitrato. Nestas rochas o escoamento faz-se preferencialmente através das fracturas e dos vazios de dissolução ou karsificação, onde as velocidades de percolação são elevadas, resultando na diluição da concentração do ião nitrato.

Relativamente às rochas carbonatadas detríticas, a correlação feita com a recarga melhorou ligeiramente, porém sem se alcançarem coeficientes de correlação próximos da unidade. Os desfasamentos melhoraram pontualmente, em alguns casos. Tal como aconteceu com as rochas carbonatadas cristalinas, existem mais MAS com correlações negativas do que positivas. Por se tratar de rochas carbonatadas, consegue-se observar ligeiramente a influência da fracturação da rocha na circulação da água, com implicações ao nível do efeito de diluição na concentração de nitrato.

Quanto às rochas detríticas, apesar de se observarem coeficientes de correlação mais elevados, não são atingidos valores que traduzam uma boa correlação. Os desfasamentos efectuados não introduziram alterações substanciais nos resultados, comparativamente aos valores obtidos sem qualquer tipo de desfasamento. Quanto à recarga, esta traz uma ligeira melhoria nalguns casos, sem nenhum destaque. Contrariamente ao que acontece com as rochas carbonatadas, no caso das rochas detríticas existem MAS com mais coeficientes de correlação positivos do que negativos. Isto poderá traduzir a diferença de material rochoso existente, sendo que, como o escoamento nas rochas detríticas se efetua através da porosidade, e contrariamente às rochas carbonatadas onde se efetua preferencialmente por fracturas e karsificação, será potenciado o efeito de lixiviação em detrimento da diluição. Assim, um coeficiente de correlação positivo significa que, com o aumento da quantidade de água que penetra no subsolo, resulta um aumento na concentração de nitrato na MAS.

Os resultados desta primeira abordagem não tiveram a expressão esperada talvez porque os dados da concentração de nitrato foram indiscriminadamente tratados, apenas se efetuando a média dos mesmos para cada ano hidrológico. A existência de vários piezómetros na MAS, não impede que outros efeitos se sobreponham, oriundos da indústria ou da pecuária. Assim, far-se-á sentir a influência pontual da contaminação sem que fique representado o estado

global da contaminação da MAS. Ao serem usadas as médias na contaminação pontual, estas podem disfarçar o efeito climático que se pretende destacar. A falta de resultados favoráveis ditou a repetição do procedimento, desta vez considerando apenas pontos analisados nas MAS com comportamentos e variações da concentração de nitratos similares ao longo do tempo.

Tal como tinha sido observado, os desfasamentos aplicados às rochas carbonatadas não introduziram valor interpretativo; por isso, para este tipo litológico, apenas se considerou a correlação simples com a recarga. No que toca às rochas detríticas, para a precipitação e recarga, foram efectuadas as correlações simples com um e dois anos de desfasamento na precipitação e recarga (Quadro 4.3).

Da segunda fase de correlações para as MAS compostas por rochas carbonatadas cristalinas, na sua generalidade, obtiveram-se melhores resultados para os coeficientes de correlação. Tal como já tinha sido notado anteriormente, é notória a predominância de coeficientes de correlação negativos comparativamente aos positivos. O mesmo acontece com as MAS compostas por rochas carbonatadas detríticas, onde predominam os coeficientes de correlação negativos comparativamente aos positivos. Nas rochas carbonatadas, os valores do coeficiente de correlação positivos podem dever-se à predominância da componente detrítica sobre a cristalina ou, no que toca às MAS constituídas por rochas carbonatadas cristalinas, à existência de uma considerável espessura detrítica de recobrimento.

Porém, quanto às rochas detríticas, os desfasamentos efectuados nesta fase trouxeram algumas melhorias nos coeficientes de correlação obtidos. Como tinha sido observado, e contrariamente às rochas carbonatadas, existe uma predominância dos coeficientes de sinal positivo em relação aos de sinal negativo. Na mesma MAS, a mudança de sinal do coeficiente de correlação da primeira para a segunda tentativa diz respeito à diferença de pontos que se consideraram da primeira para a segunda avaliação. Assim, e no caso específico da MAS 080.180, a alteração dos pontos a considerar ditou a mudança do sinal da correlação, passando de um comportamento onde a infiltração da água levava a um aumento da concentração de nitrato, para um comportamento mais típico de uma percolação mais rápida pelos sedimentos, potenciando o efeito de diluição.

Quadro 4.3 - Coeficientes de correlação obtidos entre a concentração de nitrato, a precipitação e recarga nas MAS na CHJ, para as duas séries de correlações.

1ª Série										2ª Série									
MAS de natureza Carbonatada Cristalina	Recarga		Coeficientes para precipitação				Recarga		MAS de natureza Carbonatada Cristalina	Recarga		Coef. para precipitação				Recarga		Coef. para precipitação	
	Correl. Directa	Correl. Directa	Correl. Desf. 1 ano	Correl. Desf. 2 anos			Correl. Directa	Correl. Directa		Correl. Directa	Correl. Directa	Correl. Desf. 1 ano	Correl. Desf. 2 anos			Correl. Directa	Correl. Directa	Correl. Desf. 1 ano	Correl. Desf. 2 anos
080.102	0.44	0.44	0.39	-0.46			0.44		0.44	0.44	0.33	0.80.103				0.44		0.33	0.80.103
080.103	0.26	0.05	-0.02	0.13			0.70		0.70	0.33	0.80.103	-0.33	0.80.113			-0.33	0.80.113	-0.33	0.80.113
080.113	-0.44	-0.33	0.18	-0.47			-0.44		-0.44	-0.33	0.80.113	-0.28	0.80.121			-0.28	0.80.121	-0.27	0.80.125
080.121	-0.27	-0.16	-0.29	-0.44			-0.43		-0.43	-0.17	0.80.125	-0.07	0.80.131			-0.07	0.80.131	-0.02	0.80.149
080.125	-0.21	-0.19	-0.27	-0.34			-0.17		-0.17	-0.12	0.80.131	0.05				-0.02	0.80.149		
080.131	-0.04	0.12	0.09	-0.14			-0.12		-0.12										
080.149	0.02	-0.06	-0.12	-0.27			0.05		0.05										
Média	-0.04	-0.02	-0.01	-0.28			0.00		-0.03	Média									
Soma MAS Correlação negativa	4	4	4	6			4		Soma MAS Correlação negativa	4	5								
Soma MAS Correlação positiva	3	3	3	1			3		Soma MAS Correlação positiva	2									
MAS de natureza Carbonatada Detritica										MAS de natureza Carbonatada Detritica									
080.120	-0.32	-0.26	0.09	-0.50			-0.26		-0.13	0.80.120									
080.129	-0.01	-0.08	-0.09	0.10			0.21		0.18	0.80.129									
080.158	0.17	0.26	0.13	0.02			0.68		0.63	0.80.158									
080.168	-0.12	-0.06	-0.39	-0.29			-0.21		-0.12	0.80.168									
080.179	0.06	-0.02	-0.03	0.04			-0.09		-0.10	0.80.179									
Média	-0.05	-0.03	-0.06	-0.13			0.07		0.09	Média									
Soma MAS Correlação negativa	3	4	3	2			3		Soma MAS Correlação negativa	3	3								
Soma MAS Correlação positiva	2	1	2	3			2		Soma MAS Correlação positiva	2									
MAS de natureza Detriticas										MAS de natureza Detritica									
080.110	0.04	-0.04	-0.02	0.01			0.08		-0.16			-0.03	0.06			0.04	0.80.110		
080.142	-0.35	-0.29	-0.24	-0.09			0.08		0.13			0.07	-0.03			0.05	0.80.142		
080.151	0.24	0.32	0.18	0.34			0.49		0.38			0.25	0.50			0.27	0.80.151		
080.152	0.22	0.22	0.33	0.23			-0.28		-0.15			-0.23	-0.16			-0.20	0.80.152		
080.163	0.19	0.14	0.30	0.09			0.37		0.31			0.08	0.36			0.02	0.80.163		
080.169	0.53	0.57	0.40	0.44			0.56		0.56			0.40	0.53			0.69	0.80.169		
080.180	0.43	0.39	0.52	0.10			-0.22		-0.62			-0.72	-0.35			-0.67	0.80.180		
080.190	-0.34	-0.21	-0.02	0.21			-0.20		0.58			0.75	0.00			0.48	0.80.190		
Média	0.13	0.14	0.18	0.17			0.11		0.13			0.12	0.10			0.09	Média		
Soma MAS Correlação negativa	2	3	3	1			3		3			3	4			2	Soma MAS Correlação negativa		
Soma MAS Correlação positiva	6	5	5	7			5		5			5	4			6	Soma MAS Correlação positiva		

### 4.2.3 Estimação geoestatística por Krigagem: mapas da concentração máxima de nitrato

Começou-se por fazer a estimação com os máximos, ou seja, foram considerados, para todos os pontos, os valores máximos observados de concentração de nitrato, independentemente da data em que ocorreram, para representar o respectivo variograma (Figura 4.3). A Figura 4.4 representa a estimação obtida.

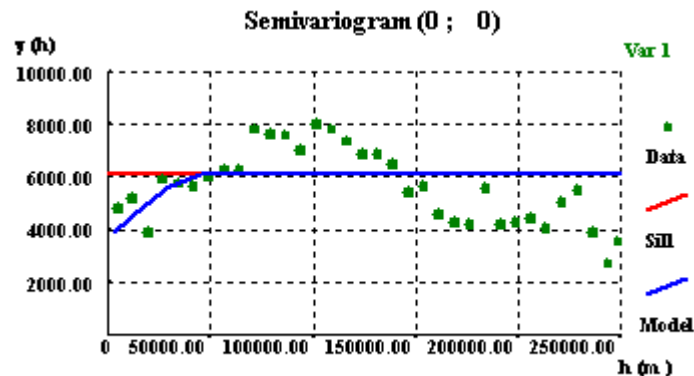
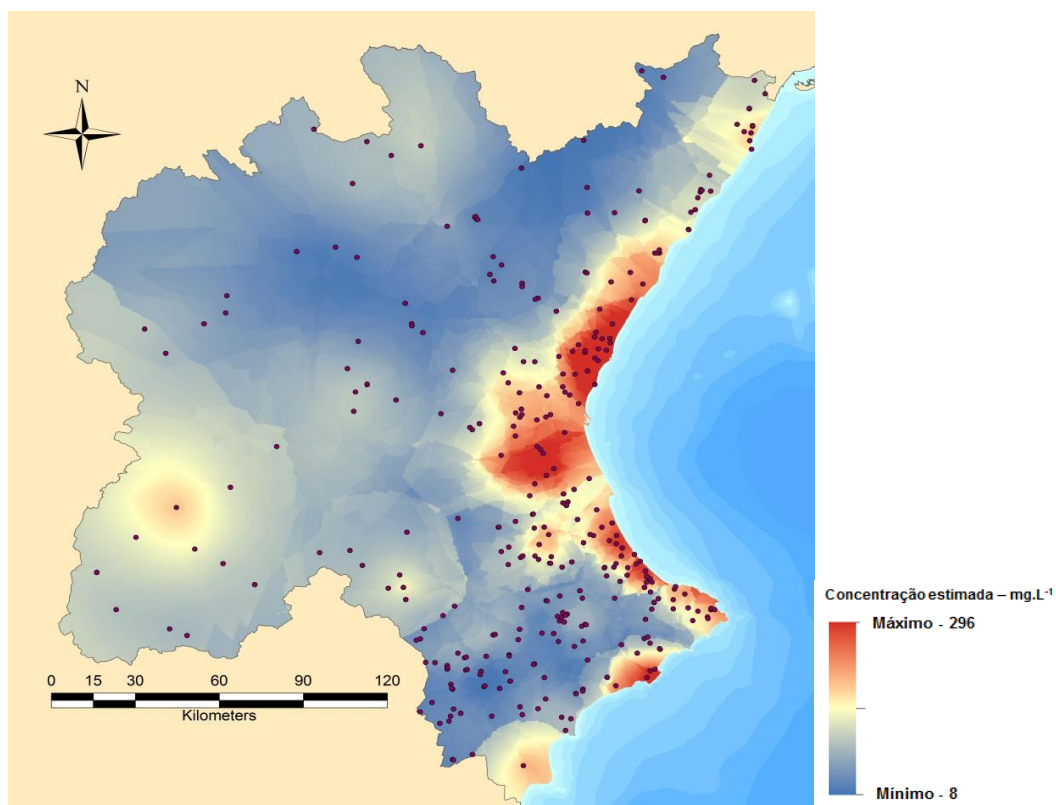


Figura 4.3 - Variograma e modelo teórico de melhor ajustamento tendo em conta os máximos de concentração de nitrato observados nos pontos de amostragem. O modelo teórico ajustado tem a seguinte equação:  $\gamma = C_0(3688,582) + SPH(C = 2439,223; a = 50000)$ .

O efeito de pepita observado neste variograma é muito alto, significando que pares de pontos muito próximos mostram grande diferença na concentração máxima de nitrato. Este comportamento é normal porque estão a ser misturados valores máximos de datas diferentes. O mapa estimado tende a ser sobre-suavizado, mas esta fase tem como objectivo dar uma primeira impressão das zonas mais ou menos contaminadas pelo menos nalguma data passada.

Pelo ajuste da curva teórica aos pontos experimentais, consegue-se notar uma amplitude de 50.000 m, o que significa que pares de amostras que distem mais de 50 km já não têm qualquer correlação entre si.





**Figura 4.4 - Estimacão por Krigagem ordinária das concentrações máximas de nitrato observadas em toda a bacia.**

Os resultados da estimacão por Krigagem corroboram com a distribuição da contaminação por nitratos na Bacia, mais incidente nas zonas onde existe uma maior componente agrícola, localizada, a Este, junto  costa. No interior da Bacia surgem algumas manchas já com concentrações preocupantes, sem dvida relacionadas com actividades agrícolas nestes locais.

#### **4.2.4 Estimacão geoestatística por Krigagem: mapas da concentração média anual de nitrato**

O variograma da Figura 4.5 mostra a correlação temporal dos dados de concentração de nitrato.

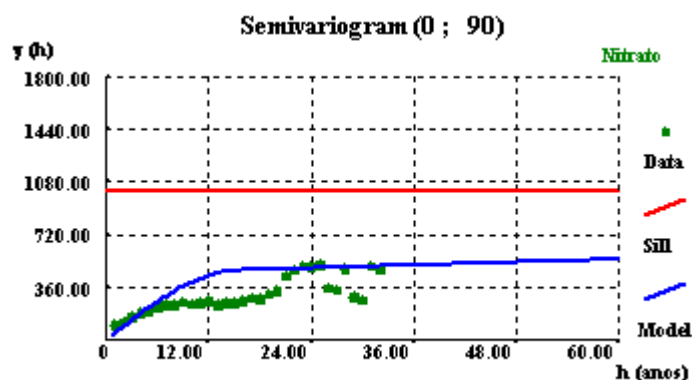


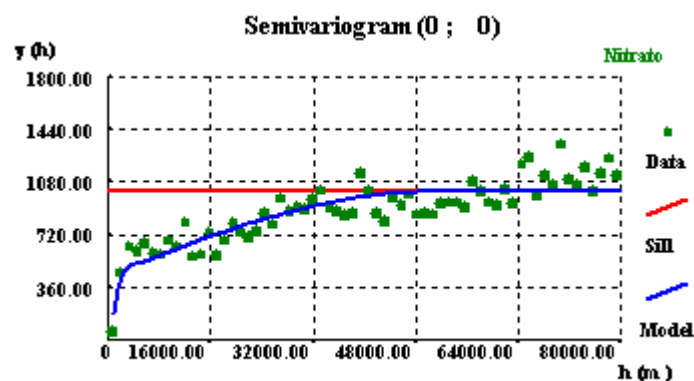
Figura 4.5 - Variograma da variação temporal da concentração de nitrato, no mesmo ponto de monitorização; O modelo teórico ajustado tem a seguinte equação:  $\gamma_T = (C_0 = 0) + SPH_1(C_1 = 450; a_1 = 15 \text{ anos}) + SPH_2(C_2 = 563,231; a_2 = 500 \text{ anos})$ .

O variograma mostra muito boa correlação temporal da variável o que significa que, por exemplo, os primeiros valores de uma série temporal estão sempre correlacionados com os últimos. Tal facto diz-nos que, na generalidade, a variação da concentração de nitrato em determinado ponto segue uma variação suave e que nos pontos com amostragem alargada as variações são sempre graduais.

A significativa correlação temporal permite que se façam verdadeiras estimações espaço-temporais, onde  $X$  e  $Y$  representam o espaço e  $Z$  o tempo. Para a estimação de cada localização utilizam-se assim os dados mais próximos, quer no espaço quer no tempo.

Segundo o modelo teórico ajustado ao variograma experimental, existe uma correlação temporal acima dos 60 anos para cada ponto. O facto do modelo teórico relativo ao variograma do tempo não tocar no patamar, sugere uma anisotropia zonal. Apesar de não ser representado, é expectável que a função teórica atinja o patamar num valor de  $h$  mais elevado.

Para o ajuste do variograma no espaço e para melhorar a leitura do gráfico do variograma optou-se por eliminar (só para efeitos de cálculo do variograma) as concentrações elevadas, acima de  $150 \text{ mg.L}^{-1}$ . Assim, com a aplicação deste filtro, já foi possível obter um ajustamento mais favorável ao variograma de uma função teórica (Figura 4.6).



**Figura 4.6 - Variograma usado para a estimação por Krigagem. A equação do modelo teórico ajustado é a seguinte:  $\gamma_H = (C_0 = 0) + SPH_1(C_1 = 450; a_1 = 3000m) + SPH_2(C_2 = 563,231; a_2 = 50000m)$ .**

O variograma é calculado de forma omnidireccional, isto é, todas as direcções tem a mesma variabilidade espacial não se considerando a pesquisa de anisotropias. O modelo teórico ajustado ao variograma determinado é o resultado da soma de dois modelos com amplitudes diferentes. A ocorrência de duas amplitudes diferentes traduz a coexistência de dois mecanismos, com importâncias regionalmente diferenciadas que contribuem para a dispersão dos nitratos.

Para quantificar a qualidade da estimação por Krigagem fez-se previamente um teste de validação cruzada. Considere-se um ponto de amostragem para o qual se conhece o valor da variável aleatória, no caso a concentração de nitrato. No processo de estimação por Krigagem, este valor é momentaneamente omitido e dá-se a oportunidade aos pontos em redor, conhecidos, de estimarem com base na distância e direcção o seu valor. De seguida, são comparados ambos os valores, o estimado e o real. A diferença (real – estimado) é o chamado erro de Krigagem.

O Erro Quadrático é o Erro elevado ao quadrado. O Erro varia entre menos e mais infinito e mede o enviesamento da estimação. Idealmente é igual a zero. Valores negativos significam subestimação e valores positivos significam sobrestimação. O erro quadrático varia entre zero e mais infinito e mede a dispersão do erro. Idealmente também deve ser zero.

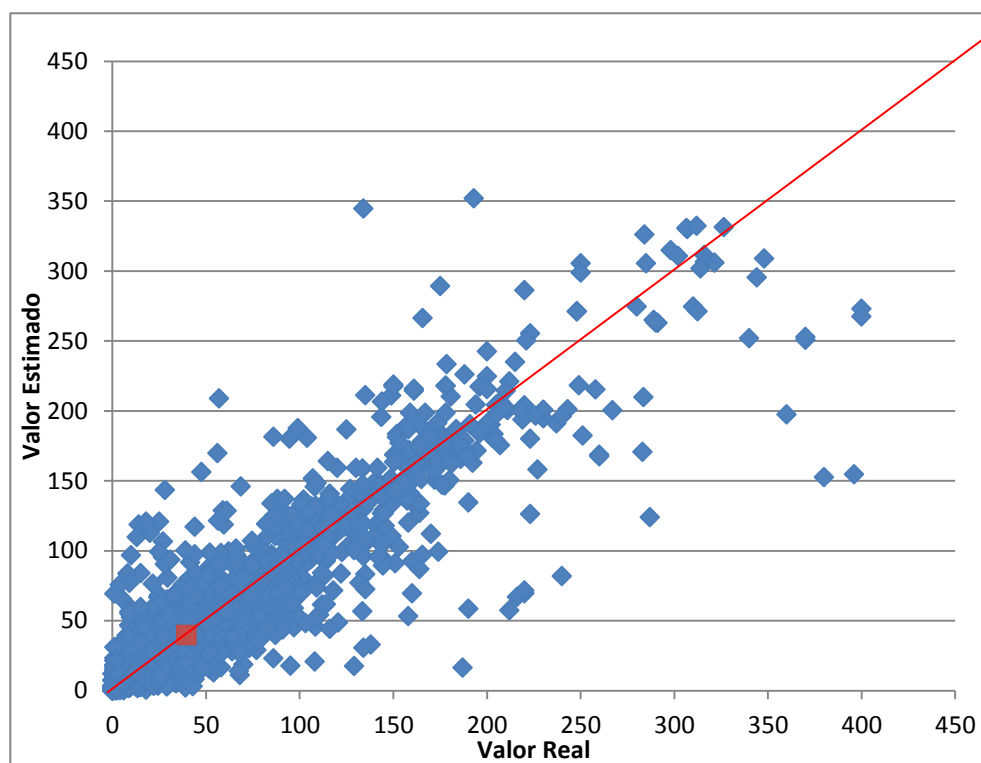
Como a análise é feita para cada ponto e ano hidrológico com registos, a única forma de tratamento possível é através da média do cálculo de todos os valores, real, estimado, erro e erro quadrático.

Foram determinadas várias estimações para diferentes janelas temporais e como existe uma forte correlação temporal foi possível encontrar um compromisso entre os anos considerados e os resultados espaciais. Caso exista uma janela temporal apertada, traduzida por uma baixa expansão nos anos (ou seja, na direcção Z), faz com que a estimação se baseie mais

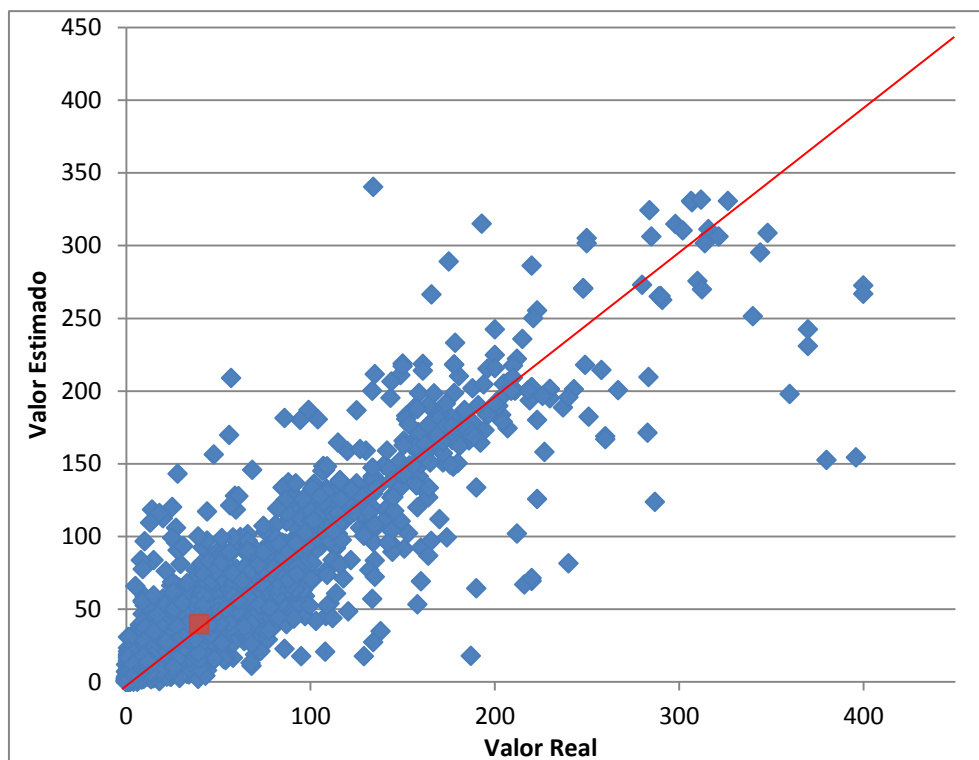
nos valores espaciais para o ano considerado. Por outro lado, se a janela temporal for muito aberta, são reduzidas as estimativas no espaço e haverá a consideração de valores espaciais em anos mais distantes.

Tendo em conta as particularidades, há que definir um compromisso entre os dados espaciais e os dados temporais. Assim, para a estimação de cada ano (ou seja, cada nível de  $Z$ ), terão de ser considerados os dados espaciais desse ano, mas, caso não existam em determinado local, dados capazes de colmatar essa lacuna, é autorizada a sua colecta no factor tempo, consoante o seu melhor ajustamento. Não fará sentido, por isso, uma grande abertura do factor temporal, pois como as concentrações podem aumentar ou diminuir ao longo da série histórica, estar-se-ão a considerar dados que, para o ano a estimar, não sejam os correctos, desprezando os dados espaciais desse ano.

Com este método resulta que a média das diferenças entre os valores reais e os valores estimados (Erro), é muito próxima de zero para diferentes anos a considerar na janela temporal. Ou seja, é possível concluir que a estimação é não enviesada. Isto significa que não existe tendencialmente algum erro sistemático. A nível gráfico, é possível observar na Figura 4.7 e Figura 4.8 onde são representadas as nuvens de dispersão para duas janelas temporais (3 e 5 anos). Em ambos os casos, o centro de gravidade da nuvem (ponto vermelho) encontra-se numa localização que traduz o não enviesamento da estimação, preferencialmente perto da linha a vermelho.



**Figura 4.7 - Nuvem de dispersão dos valores estimados pela Krigagem vs valores observados nos piezómetros e estimação feita com a janela temporal de 3 anos.**



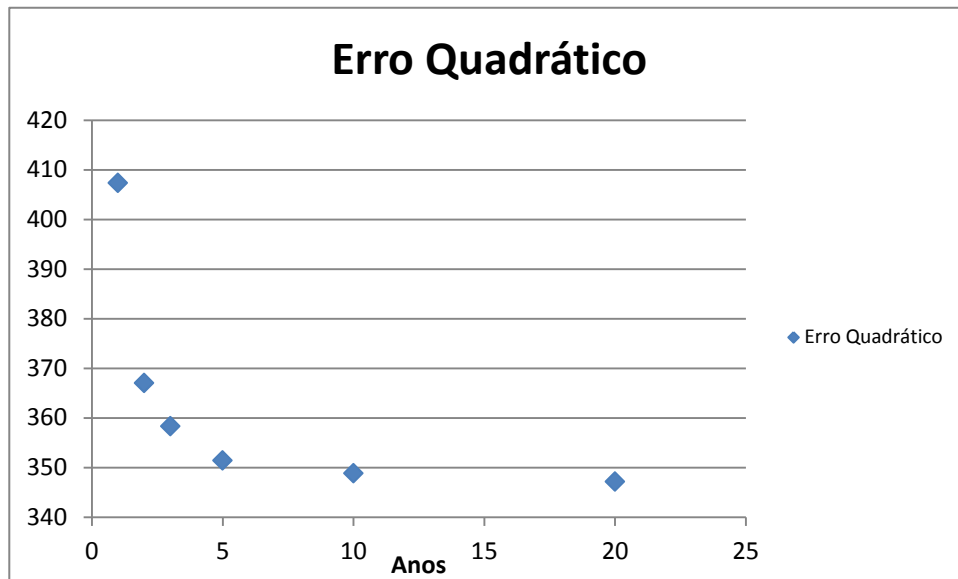
**Figura 4.8 - Nvem de dispersão dos valores estimados pela Krigagem vs valores observados nos piezmetros e estimo feita com a janela temporal de 5 anos.**

Para que se consiga avaliar a robustez da estimo  necessário avaliar a dispersão, que  dada pelo Erro Quadrático. Preferencialmente, quanto mais baixo for o Erro Quadrático melhor será a estimo. Porém, este critério  subjectivo pois depende fortemente da natureza dos dados. Desta maneira, foram realizadas várias estimativas com diferentes janelas temporais, para que seja possível observar qual a variao do Erro Quadrático. O resultado do Erro Quadrático para cada janela temporal considerada consta do Quadro 4.4:

**Quadro 4.4 - Erro Quadrático para cada estimo, considerando várias janelas temporais (1, 2, 3, 5, 10 e 20 anos).**

Anos	Erro Quadrático
1	407,3154
2	366,9863
3	358,2707
5	351,3729
10	348,8385
20	347,1434

A Figura 4.9 mostra a evoluo do erro quadrático consoante os anos seleccionados.

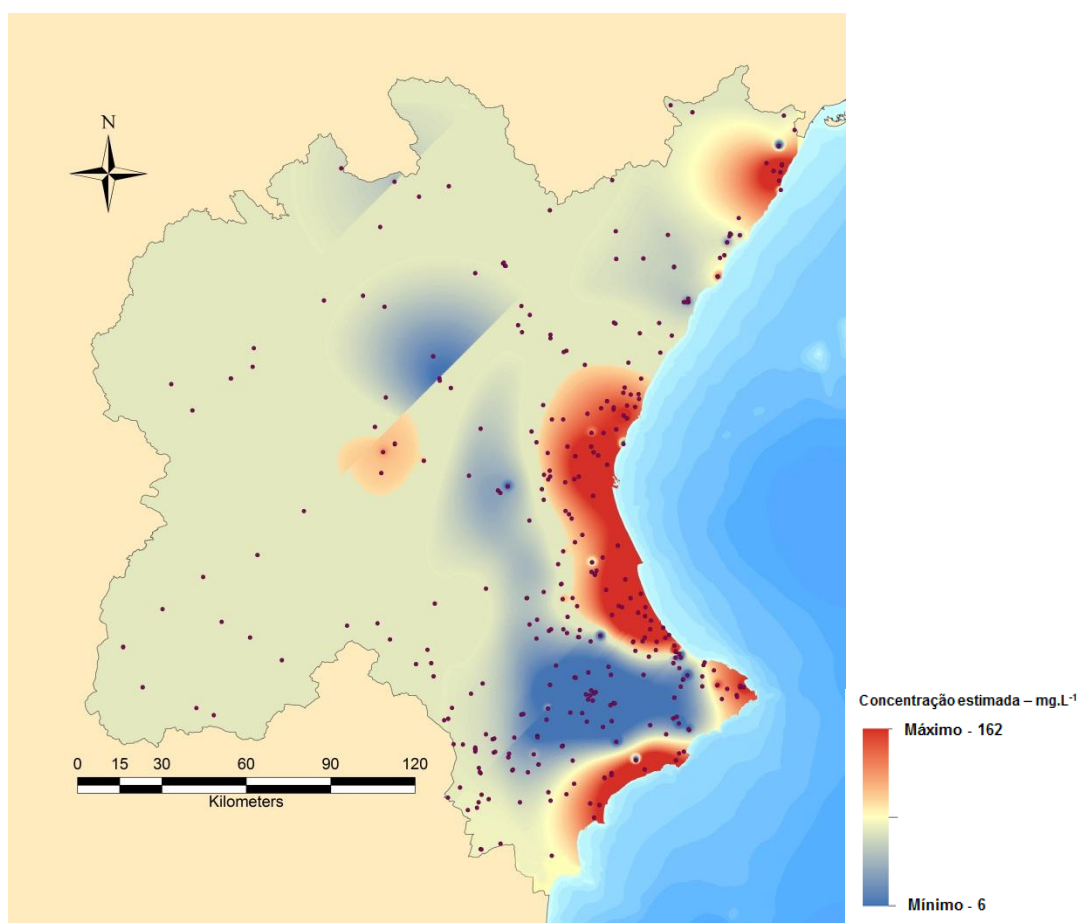


**Figura 4.9 - Erro quadrático conforme a quantidade de anos considerados na estimação.**

É notória a diminuição do Erro Quadrático à medida que se consideram cada vez mais anos na estimação. Porém, as maiores diferenças acontecem nos primeiros incrementos, em especial na consideração de 1 para 2 anos e dos 2 para os 3 anos. Para estimações superiores a 3 anos haveria um alargamento nos dados temporais, desprezando os dados espaciais correspondentes ao ano a estimar, sem com isto ocorrer uma diminuição significativa no Erro Quadrático.

Ao analisar a evolução do Erro Quadrático é possível aferir um bom compromisso entre os dados temporais e os dados espaciais, considerando a sensibilidade dos dados para que se atinjam os melhores resultados possíveis. Assim, para a estimação, neste caso específico, foi considerada melhor a janela temporal de 3 anos. Significa isto que, para cada ano a estimar, serão considerados dados até 3 anos antes e/ou depois.

Dado que existem extensas áreas subamostradas e outras com agrupamentos de amostras utilizou-se para a estimação a variante de Krigagem simples, que considera um valor local médio. O que efectivamente calcula são desvios em torno do valor médio. Isto significa que as localizações não amostradas assumem, *à priori*, que a média local é o valor médio das amostras. A Figura 4.10 mostra o resultado da estimação por Krigagem simples para o ano de 1970/71.



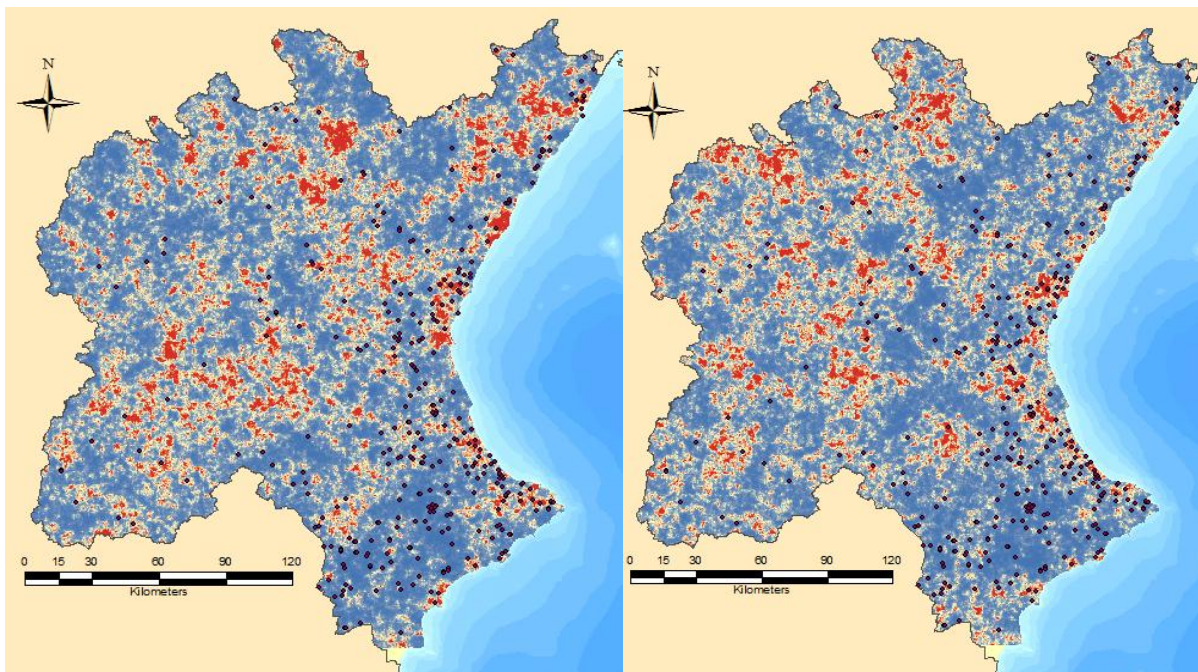
**Figura 4.10 - Estimação por Krigagem simples, adoptando a direcção espacial Z para o tempo e uma janela temporal de 3 anos, para o ano 1970/71.**

Os resultados da estimação estão coerentes com o que era esperado. Todavia observam-se artefactos ou riscas de valores que resultam da selecção das amostras na estimação, principalmente porque os dados estão agrupados nos dois tipos de escalas utilizadas na estimação (espaço e tempo). Este problema é conhecido na geoestatística e é contornado por uma de duas formas: ou se faz o agrupamento dos dados com janelas móveis ou a simulação de cenários considerando a média das simulações. No presente caso optou-se por fazer simulações e tomar a média dos resultados, porque o agrupamento por regiões não resolveria a questão da amostragem em traços espaço-tempo.

#### **4.2.5 Simulação geoestatística por Simulação Sequencial Gaussiana: mapas da concentração de nitrato**

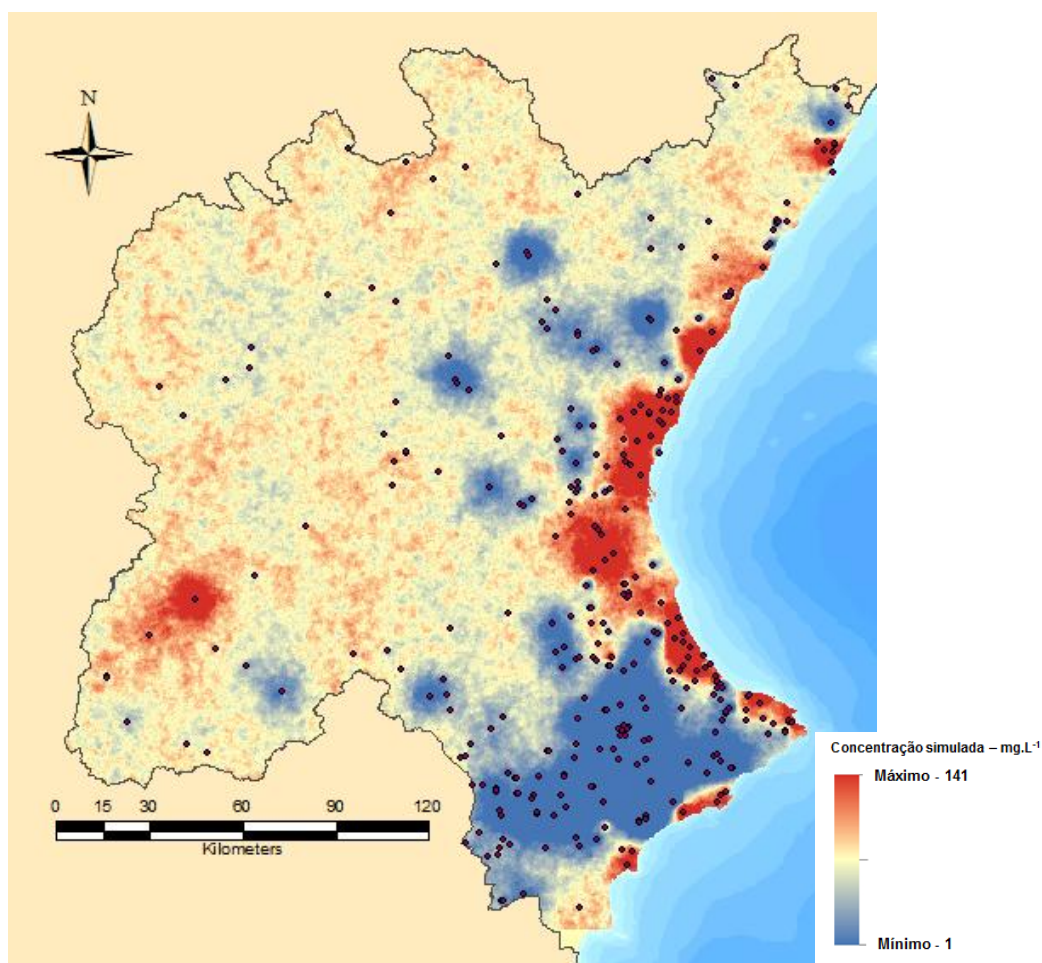
Como exemplo da representação da simulação são apresentados dois cenários relativos ao ano de 1970/71 (Figura 4.11). Apesar de diferirem, segundo a simulação, é igualmente provável que cada um represente fielmente a realidade.





**Figura 4.11 - Exemplo de duas simulações sequenciais gaussianas para o ano 1970/71.**

Assim, foram simulados 350 cenários diferentes e, no final do seu cálculo, foi feita a média de todos eles. O resultado está representado na Figura 4.12.

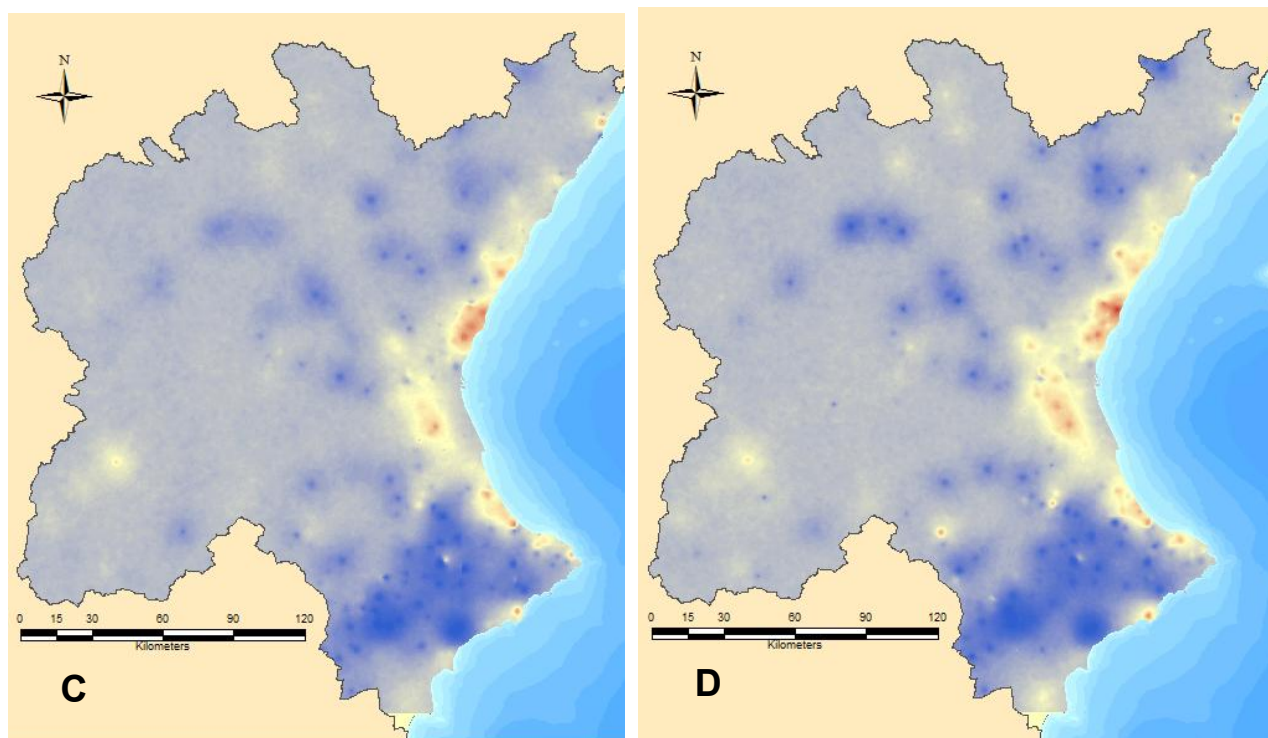
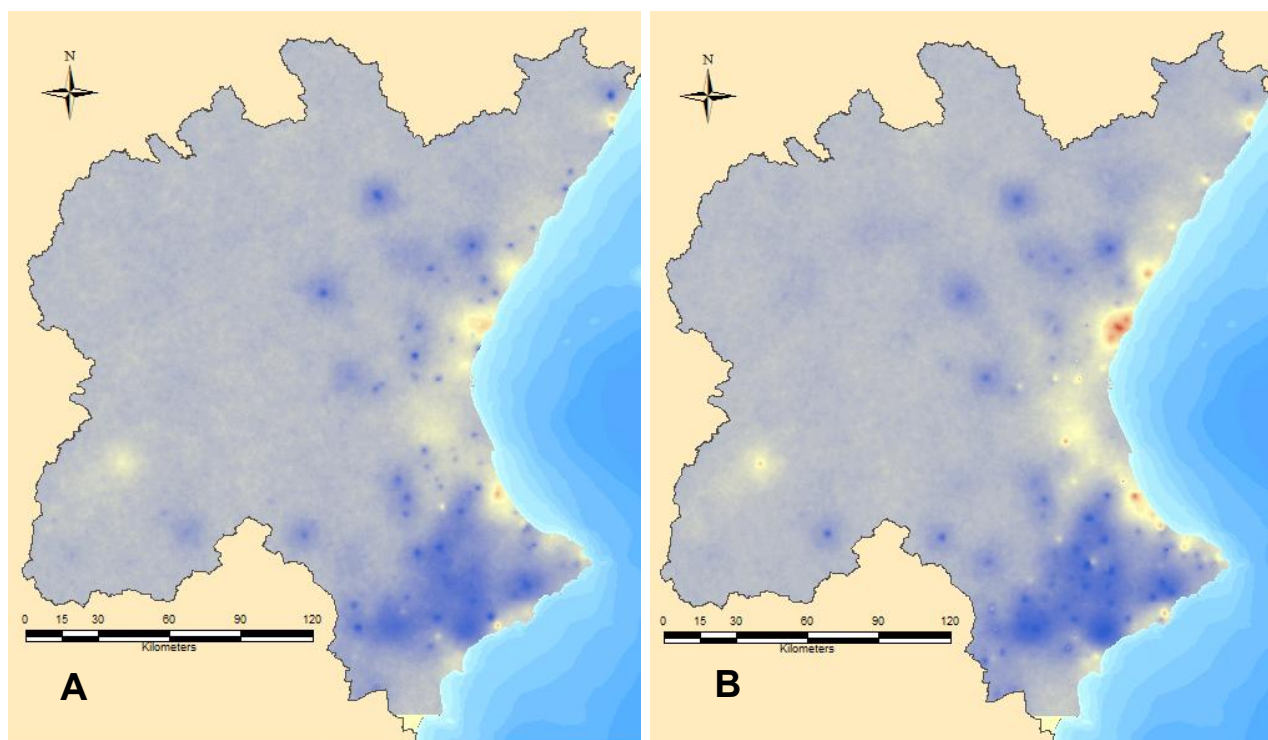


**Figura 4.12 - Resultado da Simulação Sequencial Gaussiana feita pela média de 350 simulações diferentes, para o ano de 1970/71.**



Apesar de uma ou várias simulações partilharem de igual probabilidade de acontecerem os cenários simulados, quando se transpõe para a realidade não são lógicos certos resultados. Porém, esta particularidade foi contornada com a execução de 350 simulações e a representação da sua média. Apesar de se tratar de um afastamento da realidade, pois a situação verdadeiramente real será um cenário de simulação desconhecido, com a representação da média das simulações é possível observar de grosso modo as situações que se pretendem destacar e que ocorrem no terreno (Figura 4.12). Isto só é possível devido ao efeito de proximidade que os pontos de amostragem possuem, influenciando os valores simulados em redor dos mesmos.

Foi igualmente possível observar em diferentes janelas temporais qual a distribuição das concentrações de nitrato nas MAS em toda a área. Assim, é possível observar qual a evolução das concentrações ao longo da série de medições. (Figura 4.13)



Concentração simulada –  $\text{mg.L}^{-1}$

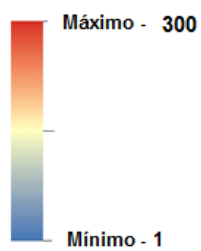
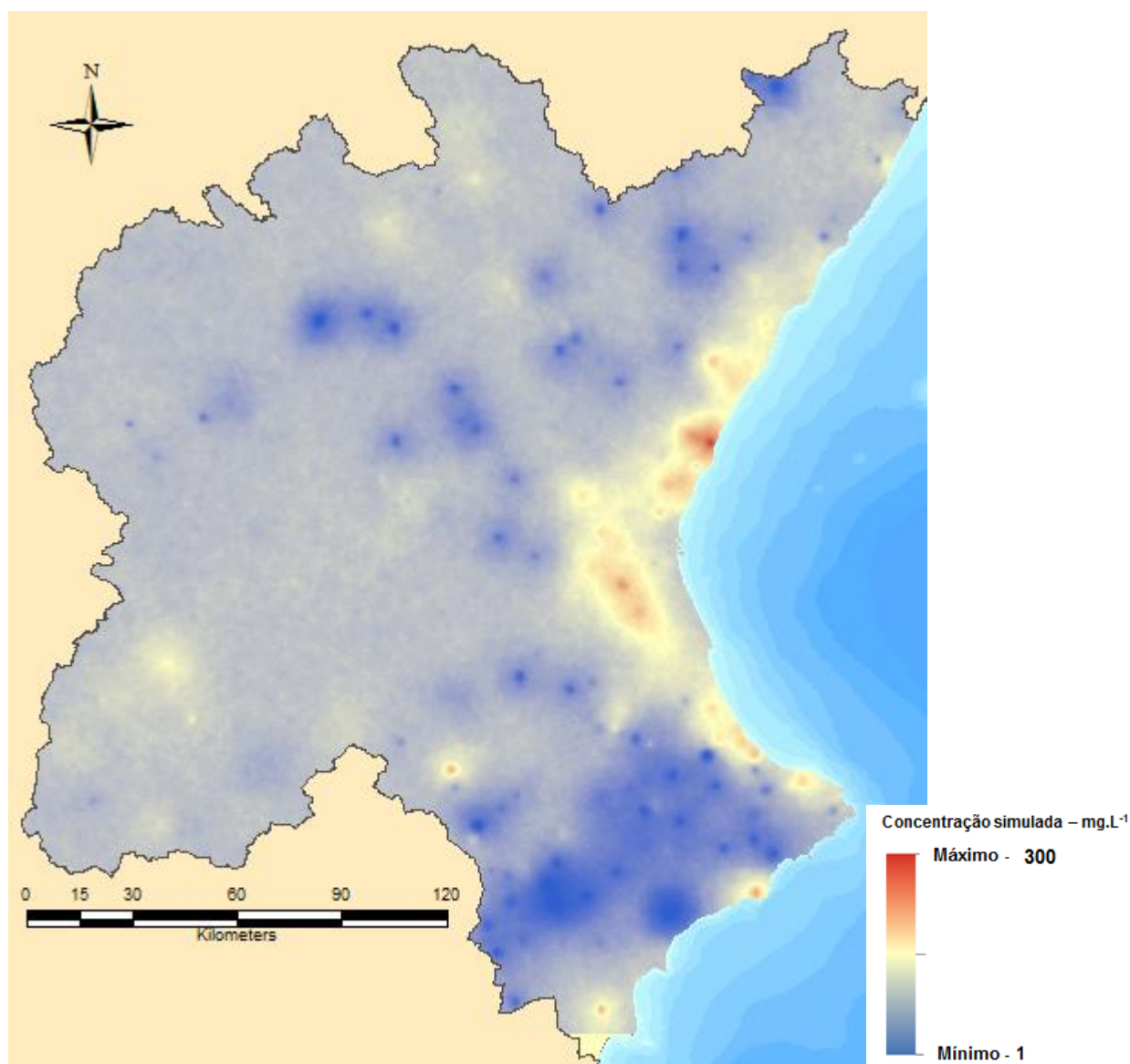


Figura 4.13 - Resultado da Simulação Sequencial Gaussiana feita pela média de 350 simulações diferentes, para os anos de 1974/75 (A), 1984/85 (B), 1994/95 (C) e 2004/2005 (D).

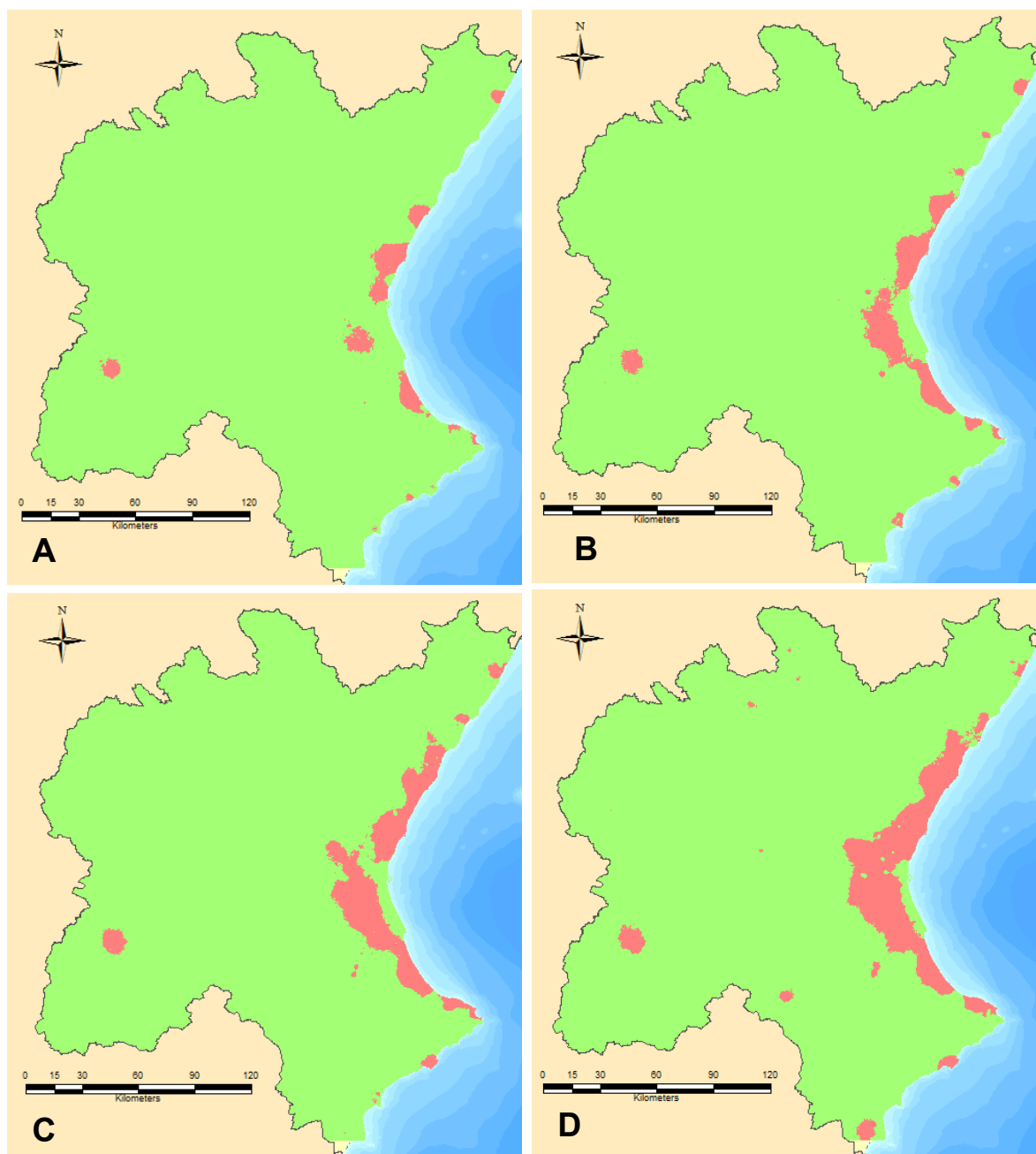
Na evolução temporal apresentada na Figura 4.13 é notória a persistência e agravamento dos problemas de contaminação nas zonas maioritariamente agrícolas (meseta de La Mancha e planície litoral).

Dada a importância dos dados mais recentes foi incluída a simulação média do último ano de registos, de 2011/12. O resultado é apresentado na Figura 4.14.



**Figura 4.14 - Resultado da Simulação Sequencial Gaussiana, feita pela média de 350 simulações diferentes, para o ano de 2011/12.**

Para simplificar a interpretação das zonas contaminadas, foram feitas diferentes janelas temporais resultantes da simulação média, cujas concentrações simuladas se situavam acima ou abaixo de 50 mg.L<sup>-1</sup>, representadas na Figura 4.15.



**Figura 4.15 - Evolução temporal da contaminação acima dos 50 mg.L<sup>-1</sup>, feita pela média das 350 simulações, para os anos de 1974/75 (A), 1984/85 (B), 1994/95 (C) e 2004/2005 (D).**

A evolução temporal da contaminação por nitratos mostra um alastramento das concentrações acima de 50 mg.L<sup>-1</sup>, com predominância nas zonas junto à costa.

Na Figura 4.16 é mostrado o estado da média da contaminação simulada para o ano mais recente dos dados disponíveis, 2011/12, das concentrações acima de 50 mg.L<sup>-1</sup>.

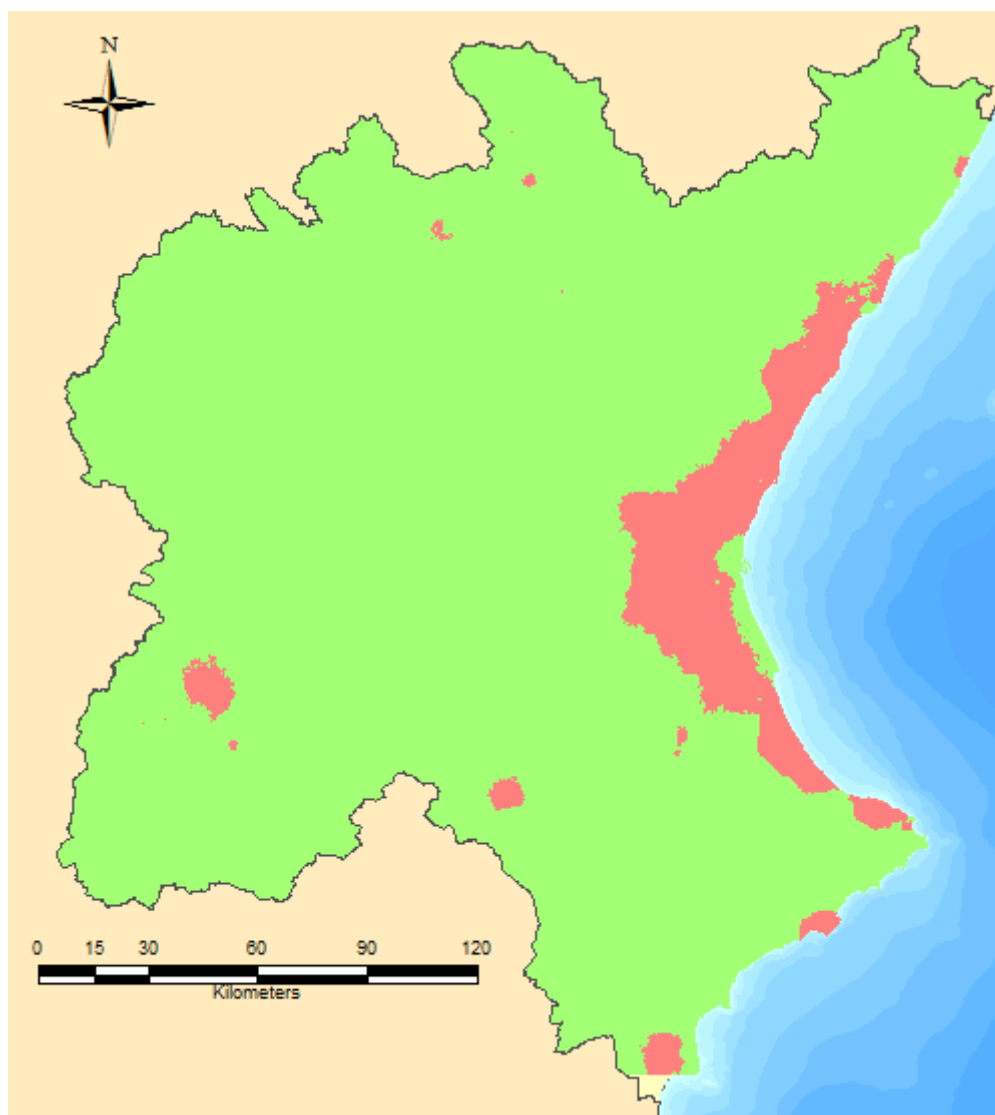


Figura 4.16 - Representação da média das simulações da Simulação Sequencial Gaussiana, feita pela média de 350 simulações diferentes, para o ano de 2011/12, com destaque das zonas com concentrações de nitrato superiores a  $50 \text{ mg.L}^{-1}$ .



## 5. Conclusões

A contaminação das águas subterrâneas por nitratos de origem agrícola e agroindustrial (criação de animais e matadouros) na Demarcação Hidrográfica do Júcar atinge, em algumas regiões, proporções preocupantes. Nas massas de água situadas nas zonas litorais da planície costeira de Valência e Castellón, os efeitos da agricultura e indústria agroalimentar têm vindo a agravar-se desde os anos 70 do século passado, onde a concentração de nitratos persiste invariavelmente elevada, bastante acima dos valores permitidos, e com tendência acentuada de crescimento nas quatro décadas de monitorização continuada. Na região agrícola de Albacete, na meseta continental de La Mancha, onde se concentra o cultivo de cereais e vinha, a situação ainda não atinge valores alarmantes, mas a tendência de contaminação é crescente e acentuada.

O estudo de 24276 registos de concentrações de nitrato de amostras recolhidas em 6381 piezómetros, inseridos em 113 massas de água subterrânea, mostrou distribuição por vezes irregular em alguns pontos das massas de água e, noutros, tendência bem prenunciada de subida ou descida nos valores das concentrações. A análise de tendências baseou-se no declive e no valor do  $R^2$  e foi determinada para 267 pontos de monitorização, tendo sido classificadas em função dos valores encontrados, em subida ou descida, acentuada (para valores de  $R^2$  superiores a 0,5), suave (com  $R^2$  entre 0,5 e 0,25) ou inconclusiva (para valores de  $R^2$  inferiores a 0,25). A harmonia verificada entre as concentrações e as tendências observadas ao longo do tempo em alguns pontos, parece relacionar-se com causa regional a afectar de igual modo as MAS, nomeadamente a ocorrência de períodos secos e húmidos ou outra não determinada.

A mobilidade do ião nitrato em meio agrícola, muito dependente da existência de água que o arrasta do solo até à zona saturada, pode sofrer retardamentos por acção de factores relacionados com as características do meio e com o clima. Admitindo estacionários outros factores situados a montante do processo de lixiviação e mobilidade, como a área cultivada, o tipo de cultura e a prática agrícola utilizada, procurou-se explicações para os picos de concentração e oscilações anuais verificados em alguns pontos de monitorização. Neste contexto, as correlações lineares procuradas entre a precipitação anual, a recarga gerada por esta, calculada pelo modelo PATRICAL, e o valor da concentração de nitrato observado nos pontos de monitorização, mostraram maioritariamente correlação inversa em massas de água de litologias carbonatadas e directa em massas de água de materiais detríticos. Embora afastados da unidade, os coeficientes encontrados revelam ainda assim a possibilidade da redução da concentração de nitrato, após época muito húmida, em água de rochas carbonatadas pela diluição por mistura com a água infiltrada, dada a incidência de coeficientes negativos nestas massas de água. O efeito contrário, de lixiviação com aumento

de concentração, parece explicar a ocorrência de maior tendência para a existência de coeficiente de correlação positiva em rochas detríticas. Situações controladas pela velocidade de percolação da água no solo e na rocha e pelo volume de água infiltrado. Os resultados das correlações ficaram aquém do esperado, possivelmente por não terem sido consideradas as profundidades dos pontos de monitorização utilizados, por indisponibilidade deste dado.

A análise geoestatística através da estimação por Krigagem e Simulação Sequencial Gaussiana confirmaram aquilo que se vem observando no terreno, em termos de incidência e distribuição da concentração de nitratos nas águas subterrâneas. Nas 48 massas de água seleccionadas para o estudo foi observada uma boa correlação temporal e espacial dos dados, cerca de 6166 registos, que permitiram efectuar verdadeiras estimações espaço-temporais. Pela mesma razão, a Simulação Sequencial Gaussiana aplicada à série de dados mostrou algumas particularidades da evolução da concentração ao longo do tempo.

Na região hidrográfica do Júcar a qualidade da água assume importância primordial porque a sua degradação reduz a disponibilidade, numa área já escassa de recursos hídricos. A gestão integrada e sustentável da água é fundamental para garantir a demanda para os diversos usos, abastecimento urbano, turismo, agricultura e indústria. Sem um perfeito conhecimento das implicações do uso do solo e das actividades humanas nas águas subterrâneas e superficiais, dificilmente se conseguirão óptimos índices de sustentabilidade. Estudos como este são fundamentais para a gestão de recursos hídricos e para o alcance dos índices pretendidos.



## 6. Bibliografia

Alexandre, J., Almeida, J.A., 1998 – geoMS - Geostatistical Modelling Software. Lisboa: Centro de Modelização de Reservatórios Petrolíferos, Instituto Superior Técnico;

Almeida, J.A., 2010 – “*Modelling of cement raw material compositional indices with direct sequential cosimulation.*”, Engineering Geology 114 (1-2), 26-33;

Almeida, J. A. & Lopes, M., 2005 – “*Stochastic simulation of rainfall using a space-time geostatistical algorithm*”, Geostatistics for Environmental Applications, Springer, Dordrecht, 455-466;

Almeida, J.A.; Santos, E. & Bio, A., 2004 – “*Characterization of Population and Recovery of Iberian Hare in Portugal Through Direct Sequential Co-Simulation.*”, geoENV IV — Geostatistics for Environmental Applications, Quantitative Geology and Geostatistics Volume 13, 2004, 127-138;

Carapeto, C., 1999 – “*Poluição das Águas*”, Lisboa, Universidade Aberta, 1ª edição;

Charifo, G., 2008 - “*Caracterização e avaliação de reservas geológicas do depósito mineral de Farim-Saliquinhé*”, Tese de mestrado, FCT-UNL;

Charifo, G., 2012 – “*Modelação de depósitos minerais amostrados por suportes irregulares. O caso de estudo do depósito de Farim-Saliquinhé na Guiné-Bissau*”, Tese de doutoramento, FCT-UNL;

Confederación Hidrográfica del Júcar, 2011 – “*Informe sobre la Caracterización Básica de las Masas de Agua Subterránea de la Confederación Hidrográfica del Júcar*”, Valência, Confederación Hidrográfica del Júcar;

Confederación Hidrográfica del Júcar, 2009 – “*Documento Técnico de Referencia: Identificación y Delimitación de Masas de Agua Superficial y Subterránea*”, Valência, Confederación Hidrográfica del Júcar;

Confederación Hidrográfica del Júcar, 2007 – “*Estudio General Sobre La Demarcación Hidrográfica Del Júcar*”, Valência, Confederación Hidrográfica del Júcar;

Confederación Hidrográfica del Júcar, 2007 – “*Plan Especial de Alerta y Eventual Sequía en la Confederación Hidrográfica del Júcar*”, Valência, Confederación Hidrográfica del Júcar;

Confederación Hidrográfica del Júcar, 1997, *“Plan Hidrológico de Cuenca Del Júcar, Memoria”*, Valência, Confederación Hidrográfica del Júcar;

Confederación Hidrográfica del Júcar & Instituto Geológico y Minero de España, 2013 – *“Esquema De Temas Importantes Para La Planificación Hidrológica En La Demarcación Hidrográfica Del Júcar”*, Valência, Confederación Hidrográfica del Júcar;

Custodio, E., Llamas, M.R., 1996 - *“Hidrologia Subterranea”*, Tomo I, Barcelona, Ediciones Omega, 2ª edição;

Davis, J. C., 1973 – *“Statistics and data analysis in Geology”*, Nova Iorque, John Wiley and Sons, 1ª edição;

Ferrer, J., Pérez-Martín, Miguel A., Jiménez, S., Estrela, T., Andreu, J., 2012 – *“GIS-based models for water quantity and quality assessment in the Júcar River Basin, Spain, including climate changes effects”*, Science of the Total Environment, 440 (2012) 42 – 59;

Gill, R., 1996 – *“Chemical Fundamentals of Geology”*, Londres, Chapman & Hall, 2ª edição;

Glinka, N., 1984 – *“Química Geral”*, Volume 2, Moscovo, Mir Moscovo, 2ª edição;

Guerrero, C. A. C., 2003 – *“Estratégias de Controlo da Poluição das Águas Subterrâneas pelos Nitratos de Origem Agrícola”*, Faro, Tese de doutoramento, Faculdade de Engenharia de Recursos Naturais, Universidade do Algarve;

Gusmão, C. C., 2008 – *“Caracterização da Radioactividade Ambiente e Contributo para Análise de Risco”*, Tese de mestrado, FCT-UNL;

Kiely, G., 1999 – *“Ingeniería Ambiental – Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión”*, Madrid, Mc Graw Hill, 1ª edição;

Lencastre, A., Franco, F. M., 2006 – *“Lições de Hidrologia”*, Lisboa, Fundação FCT, 3ª edição;

Martinez, J. L., 2010 – *“Análise da Viabilidade de Aplicação de Tecnologias de Remediação Ambiental In Situ para Redução das Concentrações de Nitratos em Águas Subterrâneas – Costa da Caparica, Portugal”*, São Paulo, Tese de mestrado, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo;

Mejías, M., Ballesteros, B. J., Antón-Pacheco, C., Domínguez, J. A., Garcia-Orellana, J., Garcia-Solsona, E., Masqué, P., 2012 – *“Methodological study of submarine groundwater*

*discharge from a karstic aquifer in the Western Mediterranean Sea*”, Journal of Hydrology, 464 – 465 (2012) 27 – 40;

Morales Suarez-Varela, M. M., Llopis Gonzalez, A., Tejerizo Perez, M. L. & Marti Requena, P., 1998 – “*Nitrate concentrations in drinking water and the relation to different crop types production in the province of Valencia (Spain)*”, International Journal of Environmental Studies, 55:3, 219-231;

Murteira, B., Ribeiro, C. S., Silva, J. A., Pimenta, C., 2007 – “*Introdução à Estatística*”, Lisboa, Mc Graw Hill, 2ª edição;

Nunes, R., Almeida, J.A., 2010 – “*Parallelization of sequential Gaussian, indicator and direct simulation algorithms.*”, Computers & Geosciences 36, 1042–1052;

Paralta, Eduardo A., Ribeiro, Luís F. T., 2003, “*Monitorização e Modelação Estocástica da Contaminação por Nitratos do Aquífero Gabro-diorítico na Região de Beja – Resultados, Conclusões e Recomendações*”, Lisboa, Seminário sobre Águas Subterrâneas;

Parlamento Europeu, 2000 – Directiva 2000/60/CE, Directiva Quadro da Água, Bruxelas, 23 de Outubro de 2000, Jornal Oficial das Comunidades Europeias;

Pérez-Martín, Miguel A, 2005 – “*Modelo Distribuido de Simulación del Ciclo Hidrológico y Calidad del Agua, Integrado en Sistemas de Información Geográfica, para Grandes Cuencas. Aportación al Análisis de Presiones e Impactos de la Directiva Marco del Agua*”. Tese de doutoramento, Universidad Politécnica de Valência, (2005);

Quental. P., Almeida, J.A., Simões. M., 2012 – “*Construction of high-resolution stochastic geological models and optimal upscaling to a simplified layer-type hydrogeological model.*”, Advances in Water Resources 39, 18–32;

Santos, J. Q. 2001 – “*Fertilização & Ambiente*”, Lisboa, Publicações Europa – América, 1ª edição;

Soares, A. – “*Geoestatística para as Ciências da Terra e do Ambiente*”, Lisboa, IST Press, 2000;

The National Geographic Society, 2010 – “*A Special Issue – Water, our Thirsty World*”, Washington, Abril de 2010, Vol. 217, N.º4;

UNESCO, 2004 – “*Groundwater Resources of the World and their Use*”, Paris, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, IHP-VI, Series on Groundwater N.º. 6.



## **7. Anexos**

## MAS de toda a CHJ

MAS	Código	Superfície em km <sup>2</sup>
Hoya de Alfambra	080.101	762,39
Javalambre Occidental	080.102	594,29
Javalambre Oriental	080.103	801,89
Mosqueruela	080.104	858,11
Puertos de Beceite	080.105	464,16
Plana de Cenia	080.106	281,01
Plana de Vinaroz	080.107	105,66
Maestrazgo Occidental	080.108	1127,74
Maestrazgo Oriental	080.109	1015,40
Plana de Oropesa - Torreblanca	080.110	89,73
Lucena - Alcora	080.111	1118,61
Hoya de Teruel	080.112	666,52
Arquillo	080.113	152,23
Gea de Albarracín	080.114	161,94
Montes Universales	080.115	1251,09
Triásico de Boniches	080.116	188,54
Jurásico de Uña	080.117	612,34
Cretácico de Cuenca Norte	080.118	1234,88
Terciario de Alarcón	080.119	1239,62
Cretácico de Cuenca Sur	080.120	690,64
Jurásico de Cardenete	080.121	248,22
Vallanca	080.122	456,36
Alpuente	080.123	899,30
Sierra del Toro	080.124	297,15
Jérica	080.125	336,63
Onda - Espadán	080.126	523,48
Plana de Castellón	080.127	495,03
Plana de Sagunto	080.128	128,81
Mancha Oriental	080.129	7145,72
Medio Palancia	080.130	668,48
Liria - Casinos	080.131	861,14
Las Serranías	080.132	925,76
Requena - Utiel	080.133	987,91
Mira	080.134	501,56
Hoces del Cabriel	080.135	699,91
Lezuza - El Jardín	080.136	859,09
Arco de Alcaraz	080.137	400,39
Alpera (Carcelén)	080.138	451,48
Cabrillas - Malacara	080.139	286,34
Buñol - Cheste	080.140	542,77
Plana de Valencia Norte	080.141	386,85
Plana de Valencia Sur	080.142	566,29
La Contienda	080.143	64,84
Sierra del Ave	080.144	414,87

Caroch Norte	080.145	741,04
Almansa	080.146	243,11
Caroch Sur	080.147	1008,07
Hoya de Játiva	080.148	81,24
Sierra de las Agujas	080.149	251,42
Bárig	080.150	70,43
Plana de Jaraco	080.151	59,57
Plana de Gandía	080.152	56,68
Marchuquera - Falconera	080.153	108,57
Sierra de Ador	080.154	46,46
Valle de Albaida	080.155	454,57
Sierra Grossa	080.156	205,79
Sierra de la Oliva	080.157	247,67
Cuchillo - Moratilla	080.158	17,62
Rocín	080.159	19,86
Villena - Benejama	080.160	330,20
Volcadores - Albaida	080.161	150,56
Almirante Mustalla	080.162	205,54
Oliva - Pego	080.163	54,64
Ondara - Denia	080.164	82,59
Montgó	080.165	24,95
Peñón - Bernia	080.166	100,40
Alfaro - Segaria	080.167	175,25
Mediodía	080.168	51,68
Muro de Alcoy	080.169	23,25
Salt San Cristobal	080.170	155,15
Sierra Mariola	080.171	95,67
Sierra Lácera	080.172	22,30
Sierra del Castellar	080.173	90,36
Peñarrubia	080.174	35,44
Hoya de Castalla	080.175	121,23
Barrancones - Carrasqueta	080.176	263,79
Sierra Aitana	080.177	215,82
Serrella - Aixorta - Algar	080.178	151,02
Depresión de Benisa	080.179	270,45
Jávea	080.180	10,18
Sierra de Salinas	080.181	141,63
Argüeña - Maigmó	080.182	126,82
Orcheta	080.183	197,11
San Juan - Benidorm	080.184	179,01
Agost - Monnegre	080.185	73,30
Sierra del Cid	080.186	129,33
Sierra del Reclot	080.187	72,46
Sierra de Argallet	080.188	48,56
Sierra de Crevillente	080.189	68,60
Bajo Vinalopó	080.190	802,66
Hoya de Alfambra	080.101	762,39
Javalambre Occidental	080.102	594,29
Javalambre Oriental	080.103	801,89
Mosqueruela	080.104	858,11

Puertos de Beceite	080.105	464,16
Plana de Cenia	080.106	281,01
Plana de Vinaroz	080.107	105,66
Maestrazgo Occidental	080.108	1127,74
Maestrazgo Oriental	080.109	1015,40
Plana de Oropesa - Torreblanca	080.110	89,73
Lucena - Alcora	080.111	1118,61
Hoya de Teruel	080.112	666,52
Arquillo	080.113	152,23
Gea de Albarracín	080.114	161,94
Montes Universales	080.115	1251,09
Triásico de Boniches	080.116	188,54
Jurásico de Uña	080.117	612,34
Cretácico de Cuenca Norte	080.118	1234,88
Terciario de Alarcón	080.119	1239,62
Cretácico de Cuenca Sur	080.120	690,64
Jurásico de Cardenete	080.121	248,22
Vallanca	080.122	456,36
Alpuente	080.123	899,30
Sierra del Toro	080.124	297,15
Jérica	080.125	336,63
Onda - Espadán	080.126	523,48
Plana de Castellón	080.127	495,03
Plana de Sagunto	080.128	128,81
Mancha Oriental	080.129	7145,72
Medio Palancia	080.130	668,48
Liria - Casinos	080.131	861,14
Las Serranías	080.132	925,76
Requena - Utiel	080.133	987,91
Mira	080.134	501,56
Hoces del Cabriel	080.135	699,91
Lezuza - El Jardín	080.136	859,09
Arco de Alcaraz	080.137	400,39
Alpera (Carcelén)	080.138	451,48
Cabrillas - Malacara	080.139	286,34
Buñol - Cheste	080.140	542,77
Plana de Valencia Norte	080.141	386,85
Plana de Valencia Sur	080.142	566,29
La Contienda	080.143	64,84
Sierra del Ave	080.144	414,87
Caroch Norte	080.145	741,04
Almansa	080.146	243,11
Caroch Sur	080.147	1008,07
Hoya de Játiva	080.148	81,24
Sierra de las Agujas	080.149	251,42
Bárig	080.150	70,43
Plana de Jaraco	080.151	59,57
Plana de Gandía	080.152	56,68
Marchuquera - Falconera	080.153	108,57
Sierra de Ador	080.154	46,46



Valle de Albaida	080.155	454,57
Sierra Grossa	080.156	205,79
Sierra de la Oliva	080.157	247,67
Cuchillo - Moratilla	080.158	17,62
Rocín	080.159	19,86
Villena - Benejama	080.160	330,20
Volcadores - Albaida	080.161	150,56
Almirante Mustalla	080.162	205,54
Oliva - Pego	080.163	54,64
Ondara - Denia	080.164	82,59
Montgó	080.165	24,95
Peñón - Bernia	080.166	100,40
Alfaro - Segaria	080.167	175,25
Mediodía	080.168	51,68
Muro de Alcoy	080.169	23,25
Salt San Cristobal	080.170	155,15
Sierra Mariola	080.171	95,67
Sierra Lácera	080.172	22,30
Sierra del Castellar	080.173	90,36
Peñarrubia	080.174	35,44
Hoya de Castalla	080.175	121,23
Barrancones - Carrasqueta	080.176	263,79
Sierra Aitana	080.177	215,82
Serrella - Aixorta - Algar	080.178	151,02
Depresión de Benisa	080.179	270,45
Jávea	080.180	10,18
Sierra de Salinas	080.181	141,63
Argüeña - Maigmo	080.182	126,82
Orcheta	080.183	197,11
San Juan - Benidorm	080.184	179,01
Agost - Monnegre	080.185	73,30
Sierra del Cid	080.186	129,33
Sierra del Reclot	080.187	72,46
Sierra de Argallet	080.188	48,56
Sierra de Crevillente	080.189	68,60
Bajo Vinalopó	080.190	802,66

Ordenação e distribuição de anos secos e anos húmidos

Ponto	080.101	Ordem	Percentagem	Ponto	080.102	Ordem	Percentagem	Ponto	080.103	Ordem	Percentagem	Ponto	080.107	Ordem	Percentagem	Ponto	080.108	Ordem	Percentagem	Ponto	080.110	Ordem	Percentagem	Ponto	080.113	Ordem	Percentagem	Ponto	080.120	Ordem	Percentagem	Ponto	080.121	Ordem	Percentagem	Ponto	080.124	Ordem	Percentagem	Ponto	080.125	Ordem	Percentagem
18	596	1	100,00%	18	690	1	100,00%	18	736	1	100,00%	2	1035	1	100,00%	2	1045	1	100,00%	2	892	1	100,00%	27	595	1	100,00%	40	803	1	100,00%	18	710	1	100,00%	18	888	1	100,00%	18	914	1	100,00%
2	572	2	97,50%	2	673	2	97,50%	2	675	2	97,50%	19	781	2	97,50%	19	993	2	97,50%	19	857	2	97,50%	18	572	2	97,50%	18	780	2	97,50%	40	707	2	97,50%	2	775	2	97,50%	2	905	2	97,50%
1	556	3	95,10%	40	636	3	95,10%	19	671	3	95,10%	34	769	3	95,10%	18	941	3	95,10%	7	780	3	95,10%	40	561	3	95,10%	27	735	3	95,10%	1	663	3	95,10%	19	720	3	95,10%	19	831	3	95,10%
33	553	4	92,60%	33	627	4	92,60%	33	620	4	92,60%	18	751	4	92,60%	20	852	4	92,60%	18	761	4	92,60%	2	543	4	92,60%	1	702	4	92,60%	7	659	4	92,60%	20	680	4	92,60%	20	827	4	92,60%
19	548	5	90,20%	27	620	5	90,20%	1	583	5	90,20%	20	730	5	90,20%	7	846	5	90,20%	21	721	5	90,20%	33	530	5	90,20%	7	700	5	90,20%	27	658	5	90,20%	32	643	5	90,20%	7	696	5	90,20%
27	527	6	87,80%	19	619	6	87,80%	27	579	6	87,80%	29	714	6	87,80%	34	737	6	87,80%	34	717	6	87,80%	19	527	6	87,80%	8	670	6	87,80%	2	625	6	87,80%	38	643	6	87,80%	32	683	6	87,80%
4	512	7	85,30%	1	591	7	85,30%	32	569	7	85,30%	32	696	7	85,30%	33	732	7	85,30%	36	601	7	85,30%	4	525	7	85,30%	9	655	7	85,30%	28	545	7	85,30%	6	622	7	85,30%	31	675	7	85,30%
21	496	8	82,90%	21	560	8	82,90%	6	547	8	82,90%	21	679	8	82,90%	31	726	8	82,90%	31	578	8	82,90%	1	475	8	82,90%	2	641	8	82,90%	34	544	8	82,90%	27	611	8	82,90%	6	656	8	82,90%
5	495	9	80,40%	32	558	9	80,40%	37	546	9	80,40%	26	650	9	80,40%	21	700	9	80,40%	37	575	9	80,40%	22	462	9	80,40%	28	626	9	80,40%	33	543	9	80,40%	40	604	9	80,40%	34	646	9	80,40%
29	484	10	78,00%	4	543	10	78,00%	40	543	10	78,00%	38	640	10	78,00%	32	697	10	78,00%	39	573	10	78,00%	32	460	10	78,00%	34	619	10	78,00%	31	537	10	78,00%	7	600	10	78,00%	21	641	10	78,00%
40	483	11	75,60%	38	534	11	75,60%	7	541	11	75,60%	7	614	11	75,60%	37	688	11	75,60%	12	573	11	75,60%	38	449	11	75,60%	33	614	11	75,60%	9	535	11	75,60%	34	599	11	75,60%	38	629	11	75,60%
7	471	12	73,10%	34	532	12	73,10%	34	536	12	73,10%	17	610	12	73,10%	38	684	12	73,10%	20	566	12	73,10%	28	447	12	73,10%	26	606	12	73,10%	19	529	12	73,10%	21	587	12	73,10%	1	621	12	73,10%
32	445	13	70,70%	7	525	13	70,70%	38	530	13	70,70%	1	585	13	70,70%	36	647	13	70,70%	38	551	13	70,70%	6	446	13	70,70%	19	596	13	70,70%	8	519	13	70,70%	1	585	13	70,70%	33	589	13	70,70%
3	440	14	68,20%	6	512	14	68,20%	21	528	14	68,20%	36	567	14	68,20%	12	631	14	68,20%	37	443	14	68,20%	37	443	14	68,20%	31	581	14	68,20%	38	510	14	68,20%	31	574	14	68,20%	27	581	14	68,20%
6	438	15	65,80%	37	503	15	65,80%	4	526	15	65,80%	11	558	15	65,80%	27	621	15	65,80%	26	551	15	65,80%	36	428	15	65,80%	5	570	15	65,80%	21	501	15	65,80%	33	572	15	65,80%	39	563	15	65,80%
34	437	16	63,40%	29	499	16	63,40%	20	505	16	63,40%	31	557	16	63,40%	1	619	16	63,40%	11	532	16	63,40%	34	427	16	63,40%	39	552	16	63,40%	5	493	16	63,40%	37	555	16	63,40%	40	542	16	63,40%
38	435	17	60,90%	39	490	17	60,90%	29	505	17	60,90%	33	553	17	60,90%	6	618	17	60,90%	6	508	17	60,90%	21	422	17	60,90%	21	547	17	60,90%	6	483	17	60,90%	39	536	17	60,90%	36	541	17	60,90%
39	418	18	58,50%	26	476	18	58,50%	39	491	18	58,50%	39	547	18	58,50%	26	604	18	58,50%	1	506	18	58,50%	7	403	18	58,50%	37	547	18	58,50%	26	482	18	58,50%	3	516	18	58,50%	41	526	18	58,50%
37	410	19	56,00%	31	465	19	56,00%	31	491	19	56,00%	3	543	19	56,00%	39	596	19	56,00%	33	505	19	56,00%	39	398	19	56,00%	4	545	19	56,00%	15	480	19	56,00%	26	510	19	56,00%	10	526	19	56,00%
16	408	20	53,60%	16	465	20	53,60%	36	480	20	53,60%	14	538	20	53,60%	22	595	20	53,60%	10	398	20	53,60%	22	498	20	53,60%	32	538	20	53,60%	37	469	20	53,60%	17	507	20	53,60%	17	521	20	53,60%
26	401	21	51,20%	5	446	21	51,20%	5	460	21	51,20%	37	526	21	51,20%	14	577	21	51,20%	5	495	21	51,20%	31	389	21	51,20%	15	538	21	51,20%	16	460	21	51,20%	41	503	21	51,20%	23	520	21	51,20%
8	394	22	48,70%	36	446	22	48,70%	26	457	22	48,70%	42	524	22	48,70%	5	558	22	48,70%	3	494	22	48,70%	41	383	22	48,70%	38	536	22	48,70%	4	459	22	48,70%	4	487	22	48,70%	37	513	22	48,70%
36	387	23	46,30%	8	437	23	46,30%	3	449	23	46,30%	5	518	23	46,30%	40	556	23	46,30%	41	480	23	46,30%	11	373	23	46,30%	16	536	23	46,30%	39	455	23	46,30%	10	481	23	46,30%	3	511	23	46,30%
9	379	24	43,90%	28	434	24	43,90%	16	441	24	43,90%	22	513	24	43,90%	4	554	24	43,90%	4	458	24	43,90%	29	369	24	43,90%	41	516	24	43,90%	17	455	24	43,90%	5	471	24	43,90%	26	486	24	43,90%
10	377	25	41,40%	41	433	25	41,40%	41	434	25	41,40%	27	509	25	41,40%	3	554	25	41,40%	17	454	25	41,40%	26	367	25	41,40%	14	510	25	41,40%	32	447	25	41,40%	36	463	25	41,40%	4	478	25	41,40%
14	374	26	39,00%	10	432	26	39,00%	10	430	26	39,00%	12	504	26	39,00%	17	549	26	39,00%	10	442	26	39,00%	9	358	26	39,00%	20	506	26	39,00%	41	441	26	39,00%	8	462	26	39,00%	5	477	26	39,00%
28	374	27	36,50%	14	430	27	36,50%	8	428	27	36,50%	4	501	27	36,50%	41	544	27	36,50%	14	436	27	36,50%	5	354	27	36,50%	17	497	27	36,50%	3	435	27	36,50%	23	445	27	36,50%	15	468	27	36,50%
11	372	28	34,10%	17	426	28	34,10%	22	424	28	34,10%	28	495	28	34,10%	11	528	28	34,10%	8	352	28	34,10%	8	352	28	34,10%	10	490	28	34,10%	20	424	28	34,10%	16	421	28	34,10%	28	447	28	34,10%
41	368	29	31,70%	3	423	29	31,70%	13	421	29	31,70%	41	458	29	31,70%	10	518	29	31,70%	27	407	29	31,70%	16	351	29	31,70%	36	474	29	31,70%	14	422	29	31,70%	28	418	29	31,70%	12	445	29	31,70%
13	361	30	29,20%	11	423	30	29,20%	28	420	30	29,20%	6	457	30	29,20%	42	502	30	29,20%	13	389	30	29,20%	20	348	30	29,20%	6	455	30	29,20%	36	394	30	29,20%	14	403	30	29,20%	16	437	30	29,20%
31	357	31	26,80%	20	423	31	26,80%	17	419	31	26,80%	23	448	31	26,80%	25	498	31	26,80%	8	366	31	26,80%	13	341	31	26,80%	3	444	31	26,80%	22	363	31	26,80%	22	400	31	26,80%	22	405	31	26,80%
17	354	32	24,30%	22	416	32	24,30%	14	418	32	24,30%	25	447	32	24,30%	23	496	32	24,30%	42	365	32	24,30%	3	338	32	24,30%	12	437	32	24,30%	13	362	32	24,30%	12	396	32	24,30%	42	405	32	24,30%
25	349	33	21,90%	13	404	33	21,90%	25	398	33	21,90%	13	439	33	21,90%	13	492	33	21,90%	23	364	33	21,90%	27	332	33	21,90%	40	416	33	21,90%	10	357	33	21,90%	42	393	33	21,90%	11	401	33	21,90%
15	328	34	19,50%	9	400	34	19,50%	11	395	34	19,50%	40	416	34	19,50%	8	491	34	19,50%	28	362	34	19,50%	25	332	34	19,50%	32	409	34	19,50%	30	344	34	19,50%	13	392	34	19,50%	29	394	34	19,50%
20	325	35	17,																																								

Ponto	080.142	Ordem	Percentagem	Ponto	080.143	Ordem	Percentagem	Ponto	080.144	Ordem	Percentagem	Ponto	080.146	Ordem	Percentagem	Ponto	080.147	Ordem	Percentagem	Ponto	080.148	Ordem	Percentagem	Ponto	080.149	Ordem	Percentagem	Ponto	080.150	Ordem	Percentagem	Ponto	080.151	Ordem	Percentagem	Ponto	080.152	Ordem	Percentagem	Ponto	080.153	Ordem	Percentagem
19	824	1	100,00%	39	914	1	100,00%	18	918	1	100,00%	27	649	1	100,00%	39	849	1	100,00%	39	1002	1	100,00%	39	1156	1	100,00%	19	1426	1	100,00%	19	1227	1	100,00%	19	1435	1	100,00%	19	1389	1	100,00%
39	812	2	97,50%	2	869	2	97,50%	2	842	2	97,50%	18	622	2	97,50%	18	807	2	97,50%	2	875	2	97,50%	2	1054	2	97,50%	39	1384	2	97,50%	39	1120	2	97,50%	39	1296	2	97,50%	39	1294	2	97,50%
2	790	3	95,10%	19	797	3	95,10%	20	823	3	95,10%	34	610	3	95,10%	27	748	3	95,10%	20	848	3	95,10%	19	1054	3	95,10%	32	1336	3	95,10%	26	1055	3	95,10%	38	1091	3	95,10%	38	1193	3	95,10%
20	753	4	92,60%	32	784	4	92,60%	39	811	4	92,60%	2	585	4	92,60%	2	734	4	92,60%	18	842	4	92,60%	34	1054	4	92,60%	34	1333	4	92,60%	38	1055	4	92,60%	18	1077	4	92,60%	32	1162	4	92,60%
32	734	5	90,20%	20	764	5	90,20%	32	769	5	90,20%	19	579	5	90,20%	3	727	5	90,20%	34	818	5	90,20%	20	1048	5	90,20%	38	1306	5	90,20%	32	1022	5	90,20%	32	1075	5	90,20%	3	1155	5	90,20%
38	712	6	87,80%	31	735	6	87,80%	21	766	6	87,80%	39	557	6	87,80%	19	711	6	87,80%	23	816	6	87,80%	34	1045	6	87,80%	20	1302	6	87,80%	20	993	6	87,80%	3	1045	6	87,80%	2	1125	6	87,80%
34	700	7	85,30%	18	732	7	85,30%	19	763	7	85,30%	1	499	7	85,30%	6	699	7	85,30%	3	814	7	85,30%	3	1016	7	85,30%	26	1278	7	85,30%	34	992	7	85,30%	27	1023	7	85,30%	18	1087	7	85,30%
21	683	8	82,90%	4	687	8	82,90%	27	737	8	82,90%	3	489	8	82,90%	38	694	8	82,90%	38	789	8	82,90%	32	1011	8	82,90%	3	1218	8	82,90%	2	925	8	82,90%	26	1010	8	82,90%	34	1067	8	82,90%
18	679	9	80,40%	21	683	9	80,40%	6	722	9	80,40%	40	484	9	80,40%	20	682	9	80,40%	19	770	9	80,40%	18	915	9	80,40%	2	1184	9	80,40%	3	879	9	80,40%	34	1007	9	80,40%	27	1066	9	80,40%
6	668	10	78,00%	38	681	10	78,00%	34	653	10	78,00%	6	481	10	78,00%	23	681	10	78,00%	6	753	10	78,00%	6	915	10	78,00%	21	1080	10	78,00%	18	862	10	78,00%	2	994	10	78,00%	26	1060	10	78,00%
26	654	11	75,60%	22	667	11	75,60%	3	646	11	75,60%	5	477	11	75,60%	34	671	11	75,60%	21	730	11	75,60%	26	912	11	75,60%	4	1067	11	75,60%	4	845	11	75,60%	16	941	11	75,60%	4	1048	11	75,60%
4	645	12	73,10%	6	662	12	73,10%	38	637	12	73,10%	26	471	12	73,10%	32	643	12	73,10%	32	722	12	73,10%	4	899	12	73,10%	27	1064	12	73,10%	21	823	12	73,10%	37	927	12	73,10%	20	998	12	73,10%
22	630	13	70,70%	34	651	13	70,70%	4	631	13	70,70%	23	466	13	70,70%	21	629	13	70,70%	13	706	13	70,70%	27	889	13	70,70%	16	1019	13	70,70%	27	821	13	70,70%	7	925	13	70,70%	16	979	13	70,70%
27	613	14	68,20%	37	628	14	68,20%	31	592	14	68,20%	32	460	14	68,20%	4	590	14	68,20%	27	693	14	68,20%	21	859	14	68,20%	22	1013	14	68,20%	16	809	14	68,20%	20	913	14	68,20%	7	969	14	68,20%
3	606	15	65,80%	17	608	15	65,80%	26	579	15	65,80%	4	457	15	65,80%	10	567	15	65,80%	4	660	15	65,80%	22	849	15	65,80%	18	1013	15	65,80%	37	798	15	65,80%	4	904	15	65,80%	37	924	15	65,80%
37	567	16	63,40%	14	607	16	63,40%	1	572	16	63,40%	38	447	16	63,40%	26	547	16	63,40%	10	650	16	63,40%	7	770	16	63,40%	37	1007	16	63,40%	7	797	16	63,40%	22	841	16	63,40%	6	863	16	63,40%
31	561	17	60,90%	27	593	17	60,90%	7	569	17	60,90%	13	410	17	60,90%	37	542	17	60,90%	37	604	17	60,90%	23	767	17	60,90%	23	1000	17	60,90%	24	751	17	60,90%	24	809	17	60,90%	22	850	17	60,90%
17	551	18	58,50%	26	566	18	58,50%	10	569	18	58,50%	37	398	18	58,50%	13	541	18	58,50%	16	585	18	58,50%	37	747	18	58,50%	40	938	18	58,50%	22	750	18	58,50%	23	774	18	58,50%	10	832	18	58,50%
7	523	19	56,00%	3	560	19	56,00%	40	553	19	56,00%	7	397	19	56,00%	40	538	19	56,00%	26	585	19	56,00%	16	709	19	56,00%	7	922	19	56,00%	6	746	19	56,00%	21	766	19	56,00%	21	829	19	56,00%
10	515	20	53,60%	1	559	20	53,60%	37	542	20	53,60%	20	397	20	53,60%	1	514	20	53,60%	22	572	20	53,60%	10	702	20	53,60%	6	899	20	53,60%	23	737	20	53,60%	6	737	20	53,60%	24	813	20	53,60%
14	514	21	51,20%	40	535	21	51,20%	8	527	21	51,20%	21	393	21	51,20%	42	502	21	51,20%	1	571	21	51,20%	40	686	21	51,20%	24	884	21	51,20%	40	713	21	51,20%	42	735	21	51,20%	35	801	21	51,20%
40	508	22	48,70%	10	520	22	48,70%	22	519	22	48,70%	33	390	22	48,70%	7	502	22	48,70%	42	534	22	48,70%	42	682	22	48,70%	42	880	22	48,70%	42	679	22	48,70%	10	731	22	48,70%	40	787	22	48,70%
24	501	23	46,30%	12	505	23	46,30%	5	515	23	46,30%	31	388	23	46,30%	16	501	23	46,30%	33	534	23	46,30%	17	669	23	46,30%	17	862	23	46,30%	17	662	23	46,30%	40	731	23	46,30%	23	787	23	46,30%
1	496	24	43,90%	7	483	24	43,90%	17	514	24	43,90%	10	376	24	43,90%	33	495	24	43,90%	40	518	24	43,90%	5	642	24	43,90%	10	838	24	43,90%	10	651	24	43,90%	35	702	24	43,90%	42	779	24	43,90%
42	496	25	41,40%	8	476	25	41,40%	23	511	25	41,40%	41	359	25	41,40%	41	489	25	41,40%	7	513	25	41,40%	31	641	25	41,40%	35	804	25	41,40%	5	644	25	41,40%	5	682	25	41,40%	5	765	25	41,40%
23	462	26	39,00%	24	454	26	39,00%	12	499	26	39,00%	16	358	26	39,00%	5	484	26	39,00%	5	511	26	39,00%	24	639	26	39,00%	1	779	26	39,00%	1	607	26	39,00%	17	619	26	39,00%	1	741	26	39,00%
8	457	27	36,50%	42	447	27	36,50%	41	476	27	36,50%	36	355	27	36,50%	22	478	27	36,50%	35	508	27	36,50%	8	633	27	36,50%	5	777	27	36,50%	35	572	27	36,50%	1	604	27	36,50%	17	711	27	36,50%
5	434	28	34,10%	11	419	28	34,10%	29	458	28	34,10%	8	350	28	34,10%	12	461	28	34,10%	41	498	28	34,10%	1	621	28	34,10%	8	729	28	34,10%	8	542	28	34,10%	8	598	28	34,10%	8	705	28	34,10%
12	401	29	31,70%	41	411	29	31,70%	33	455	29	31,70%	22	338	29	31,70%	17	448	29	31,70%	31	495	29	31,70%	35	608	29	31,70%	33	719	29	31,70%	33	513	29	31,70%	33	564	29	31,70%	33	657	29	31,70%
41	398	30	29,20%	23	409	30	29,20%	11	454	30	29,20%	14	337	30	29,20%	8	431	30	29,20%	8	485	30	29,20%	41	554	30	29,20%	41	681	30	29,20%	31	489	30	29,20%	31	520	30	29,20%	31	633	30	29,20%
35	391	31	26,80%	5	397	31	26,80%	42	439	31	26,80%	15	333	31	26,80%	31	422	31	26,80%	17	482	31	26,80%	14	553	31	26,80%	31	645	31	26,80%	14	479	31	26,80%	11	511	31	26,80%	41	611	31	26,80%
33	382	32	24,30%	33	390	32	24,30%	15	422	32	24,30%	42	332	32	24,30%	35	419	32	24,30%	12	462	32	24,30%	33	549	32	24,30%	30	628	32	24,30%	11	475	32	24,30%	30	500	32	24,30%	11	582	32	24,30%
16	382	33	21,90%	29	384	33	21,90%	14	420	33	21,90%	29	310	33	21,90%	15	397	33	21,90%	24	444	33	21,90%	12	466	33	21,90%	11	588	33	21,90%	15	453	33	21,90%	15	492	33	21,90%	28	569	33	21,90%
11	366	34	19,50%	35	380	34	19,50%	24	420	34	19,50%	17	304	34	19,50%	29	394	34	19,50%	29	414	34	19,50%	11	464	34	19,50%	28	583	34	19,50%	28	485	34	19,50%	15	550	34	19,50%	15	550	34	19,50%
29	343	35</																																									

Ponto	080.169	Ordem	Percentagem	Ponto	080.179	Ordem	Percentagem	Ponto	080.180	Ordem	Percentagem	Ponto	080.184	Ordem	Percentagem	Ponto	080.185	Ordem	Percentagem	Ponto	080.187	Ordem	Percentagem	Ponto	080.190	Ordem	Percentagem
2	975	1	100,00%	16	1069	1	100,00%	19	895	1	100,00%	2	667	1	100,00%	18	587	1	100,00%	19	676	1	100,00%	19	545	1	100,00%
19	917	2	97,50%	39	1038	2	97,50%	39	856	2	97,50%	19	629	2	97,50%	19	587	2	97,50%	18	653	2	97,50%	18	515	2	97,50%
21	912	3	95,10%	19	1010	3	95,10%	2	803	3	95,10%	18	575	3	95,10%	2	541	3	95,10%	5	390	3	95,10%	2	448	3	95,10%
3	904	4	92,60%	2	1002	4	92,60%	32	786	4	92,60%	38	551	4	92,60%	39	482	4	92,60%	40	382	4	92,60%	27	431	4	92,60%
16	897	5	90,20%	38	961	5	90,20%	16	744	5	90,20%	20	501	5	90,20%	3	482	5	90,20%	27	380	5	90,20%	3	405	5	90,20%
38	892	6	87,80%	32	957	6	87,80%	22	743	6	87,80%	37	500	6	87,80%	27	478	6	87,80%	38	369	6	87,80%	39	391	6	87,80%
23	880	7	85,30%	22	915	7	85,30%	26	732	7	85,30%	16	475	7	85,30%	1	420	7	85,30%	31	368	7	85,30%	37	364	7	85,30%
18	870	8	82,90%	37	900	8	82,90%	3	715	8	82,90%	27	464	8	82,90%	5	419	8	82,90%	37	365	8	82,90%	10	363	8	82,90%
7	852	9	80,40%	3	873	9	80,40%	37	695	9	80,40%	3	456	9	80,40%	37	412	9	80,40%	32	363	9	80,40%	38	355	9	80,40%
20	809	10	78,00%	40	828	10	78,00%	40	685	10	78,00%	10	448	10	78,00%	38	405	10	78,00%	39	358	10	78,00%	20	345	10	78,00%
4	803	11	75,60%	21	820	11	75,60%	27	655	11	75,60%	32	438	11	75,60%	10	394	11	75,60%	23	354	11	75,60%	32	337	11	75,60%
39	800	12	73,10%	20	806	12	73,10%	38	640	12	73,10%	4	435	12	73,10%	7	385	12	73,10%	10	346	12	73,10%	1	336	12	73,10%
34	797	13	70,70%	34	802	13	70,70%	7	635	13	70,70%	17	428	13	70,70%	4	376	13	70,70%	3	346	13	70,70%	5	333	13	70,70%
35	792	14	68,20%	7	789	14	68,20%	18	617	14	68,20%	1	426	14	68,20%	40	375	14	68,20%	16	341	14	68,20%	31	333	14	68,20%
10	766	15	65,80%	18	783	15	65,80%	24	608	15	65,80%	39	422	15	65,80%	32	374	15	65,80%	7	340	15	65,80%	4	327	15	65,80%
27	759	16	63,40%	4	777	16	63,40%	34	605	16	63,40%	22	418	16	63,40%	20	352	16	63,40%	34	336	16	63,40%	34	324	16	63,40%
22	759	17	60,90%	42	720	17	60,90%	21	599	17	60,90%	5	417	17	60,90%	31	349	17	60,90%	2	335	17	60,90%	40	310	17	60,90%
32	747	18	58,50%	27	715	18	58,50%	20	583	18	58,50%	21	415	18	58,50%	34	342	18	58,50%	22	320	18	58,50%	7	294	18	58,50%
42	727	19	56,00%	24	703	19	56,00%	31	580	19	56,00%	7	410	19	56,00%	6	331	19	56,00%	42	317	19	56,00%	21	287	19	56,00%
33	666	20	53,60%	10	670	20	53,60%	6	571	20	53,60%	6	404	20	53,60%	12	327	20	53,60%	1	310	20	53,60%	22	264	20	53,60%
37	659	21	51,20%	26	666	21	51,20%	42	566	21	51,20%	31	386	21	51,20%	16	320	21	51,20%	20	306	21	51,20%	6	262	21	51,20%
17	656	22	48,70%	23	661	22	48,70%	30	550	22	48,70%	40	374	22	48,70%	15	303	22	48,70%	6	281	22	48,70%	17	261	22	48,70%
6	655	23	46,30%	35	647	23	46,30%	33	533	23	46,30%	23	347	23	46,30%	13	300	23	46,30%	21	281	23	46,30%	9	258	23	46,30%
5	651	24	43,90%	33	628	24	43,90%	4	516	24	43,90%	15	333	24	43,90%	23	294	24	43,90%	12	279	24	43,90%	12	255	24	43,90%
1	643	25	41,40%	6	612	25	41,40%	23	515	25	41,40%	26	327	25	41,40%	41	289	25	41,40%	36	272	25	41,40%	16	254	25	41,40%
31	628	26	39,00%	31	599	26	39,00%	9	509	26	39,00%	12	323	26	39,00%	17	287	26	39,00%	15	266	26	39,00%	26	254	26	39,00%
40	617	27	36,50%	5	590	27	36,50%	1	502	27	36,50%	34	323	27	36,50%	36	278	27	36,50%	26	257	27	36,50%	42	254	27	36,50%
41	598	28	34,10%	9	584	28	34,10%	5	484	28	34,10%	36	319	28	34,10%	21	277	28	34,10%	41	251	28	34,10%	13	251	28	34,10%
13	581	29	31,70%	1	570	29	31,70%	10	473	29	31,70%	24	312	29	31,70%	26	261	29	31,70%	14	247	29	31,70%	15	246	29	31,70%
36	534	30	29,20%	36	557	30	29,20%	35	468	30	29,20%	9	304	30	29,20%	9	259	30	29,20%	4	242	30	29,20%	23	241	30	29,20%
15	533	31	26,80%	17	540	31	26,80%	36	447	31	26,80%	33	301	31	26,80%	42	255	31	26,80%	17	233	31	26,80%	36	231	31	26,80%
12	511	32	24,30%	30	484	32	24,30%	41	429	32	24,30%	41	293	32	24,30%	22	253	32	24,30%	13	231	32	24,30%	14	224	32	24,30%
8	502	33	21,90%	41	480	33	21,90%	17	393	33	21,90%	8	288	33	21,90%	14	246	33	21,90%	8	231	33	21,90%	41	212	33	21,90%
28	494	34	19,50%	15	471	34	19,50%	8	363	34	19,50%	11	286	34	19,50%	11	241	34	19,50%	9	221	34	19,50%	11	212	34	19,50%
25	492	35	17,00%	11	456	35	17,00%	25	344	35	17,00%	42	286	35	17,00%	8	240	35	17,00%	28	221	35	17,00%	24	204	35	17,00%
24	490	36	14,60%	28	448	36	14,60%	14	343	36	14,60%	14	277	36	14,60%	28	211	36	14,60%	35	213	36	14,60%	29	199	36	14,60%
26	471	37	12,10%	14	403	37	12,10%	15	319	37	12,10%	13	246	37	12,10%	30	209	37	12,10%	33	201	37	12,10%	8	192	37	12,10%
11	471	38	9,70%	12	402	38	9,70%	28	304	38	9,70%	25	224	38	9,70%	24	209	38	9,70%	24	191	38	9,70%	35	187	38	9,70%
9	455	39	7,30%	8	401	39	7,30%	12	296	39	7,30%	35	224	39	7,30%	29	208	39	7,30%	11	183	39	7,30%	28	183	39	7,30%
14	439	40	4,80%	25	398	40	4,80%	11	291	40	4,80%	29	218	40	4,80%	33	207	40	4,80%	25	180	40	4,80%	33	176	40	4,80%
29	403	41	2,40%	29	353	41	2,40%	13	280	41	2,40%	28	204	41	2,40%	35	186	41	2,40%	30	175	41	2,40%	30	149	41	2,40%
30	383	42	0,00%	13	346	42	0,00%	29	261	42	0,00%	30	203	42	0,00%	25	145	42	0,00%	29	174	42	0,00%	25	141	42	0,00%

[illegible]



[illegible]